CAPITULO 1
INTRODUCCION A LOS MOTORES ELECTRICOS

1.1 Clasificación general de los motores eléctricos

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos.

Debido a que son muchos y variados los tipos de motores eléctricos, existen numerosas formas de catalogarlos. A continuación se muestran algunas de las formas más usuales:

- Por su alimentación eléctrica [*véase figura 1.1*]
- Por el número de fases en su alimentación [*véase figura 1.2*]
- Por su sentido de giro [*véase figura 1.3*]
- Por su flecha [*véase figura 1.4*]
- Por su ventilación [*véase figura 1.5*]
- Por su carcasa [*véase figura 1.6*]
- Por la forma de sujeción [*véase figura 1.7*]
- Por la posición de su flecha [*véase figura 1.8*]

Figura 1.1 Clasificación por su alimentación eléctrica

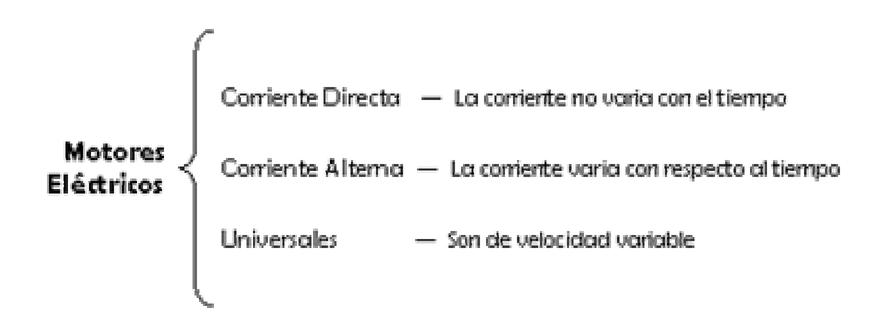


Figura 1.2 **Clasificación por el número de fases en su alimentación**

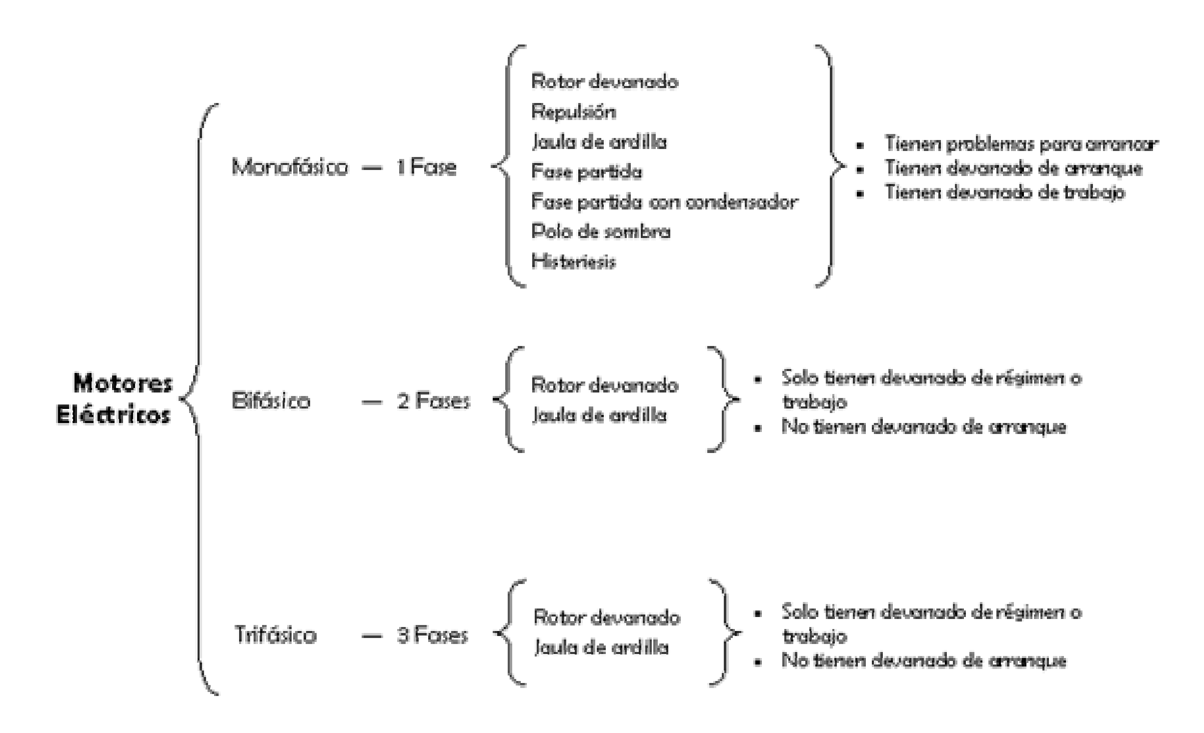


Figura 1.3 **Clasificación por su sentido de giro**

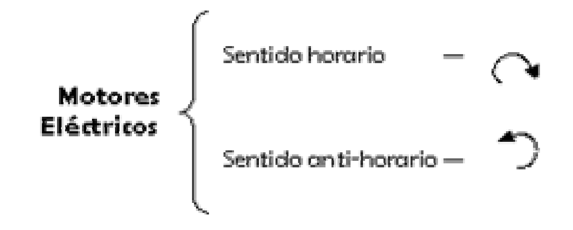


Figura 1.4 **Clasificación por su flecha**

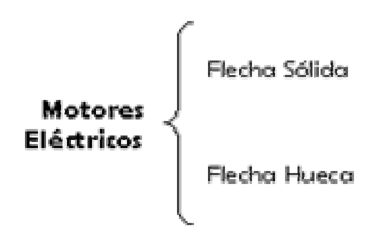


Figura 1.5 Clasificación por su ventilación

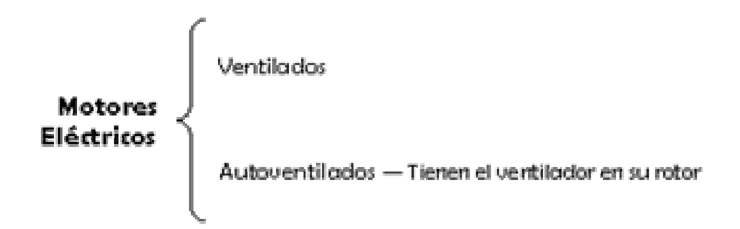


Figura 1.6 Clasificación por su carcasa

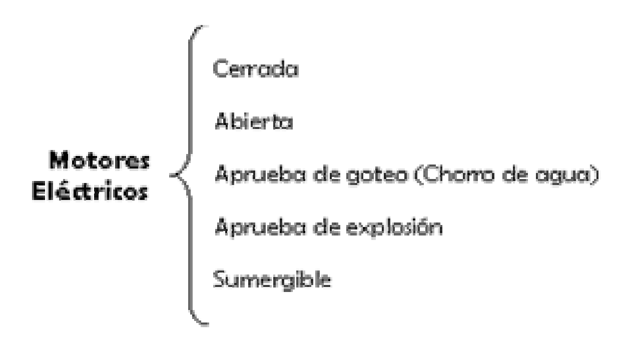


Figura 1.7 Clasificación por la forma de sujeción

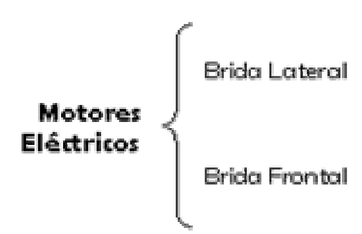
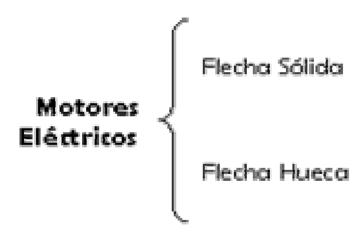


Figura 1.8 Clasificación por la posición de su flecha



1.1.1 Fundamentos de operación de los motores eléctricos

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la figura 1.9 se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico.

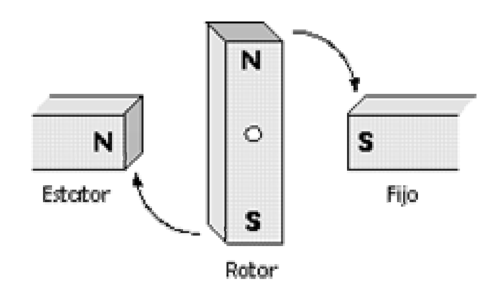


Figura 1.9 Generación del movimiento de rotación

Un motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio que André Ampére observo en 1820, en el que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.

1.1.2 Tipos y características

Existen básicamente tres tipos de motores eléctricos:

a) Los *Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.]*. Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe de tener en el rotor y el estator el mismo numero de polos y el mismo numero de carbones. Los motores de corriente directa pueden ser de tres tipos:
   - Serie
   - Paralelo
   - Mixto

b) Los *Motores de Corriente Alterna* [C.A.]. Son los tipos de motores más usados en la industria, ya que estos equipos se alimentan con los sistemas de distribución de energías “normales”. De acuerdo a su alimentación se dividen en tres tipos:

- Monofásicos (1 fase)
- Bifásicos (2 fases)
- Trifásicos (3 fases)

c) Los *Motores Universales*. Tienen la forma de un motor de corriente continua, la principal diferencia es que esta diseñado para funcionar con corriente alterna. El inconveniente de este tipo de motores es su eficiencia, ya que es baja (del orden del 51%), pero como se utilizan en maquinas de pequeña potencia, ésta no se considera importante, además, su operación debe ser intermitente, de lo contrario, éste se quemaría. Estos motores son utilizados en taladros, aspiradoras, licuadoras, etc.

1.2 Partes fundamentales de un motor eléctrico

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes [véase figura 1.10]. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

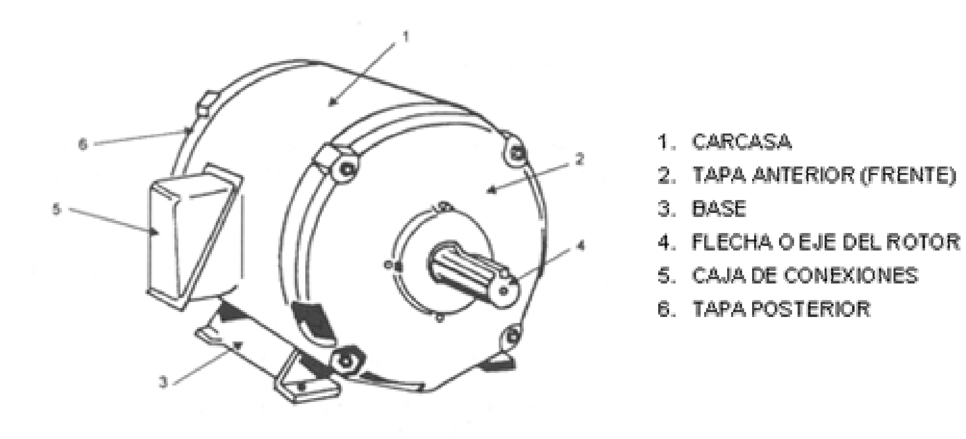


Figura 1.10 Partes de un motor de C.A.

1.2.1 Estator

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores [ver figura 1.12]:

a) Estator de polos salientes
b) Estator rasurado

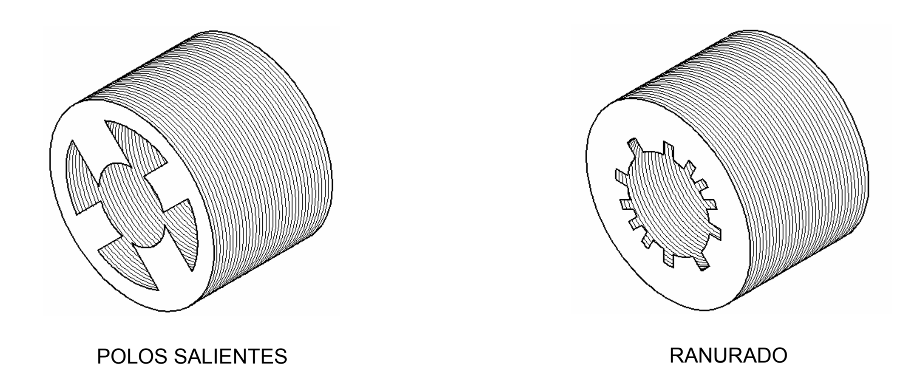


Figura 1.12 Tipos de estatores

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.,), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

1.2.2 Rotor

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos [figura 1.13]:

a) Rotor ranurado
b) Rotor de polos salientes
c) Rotor jaula de ardilla

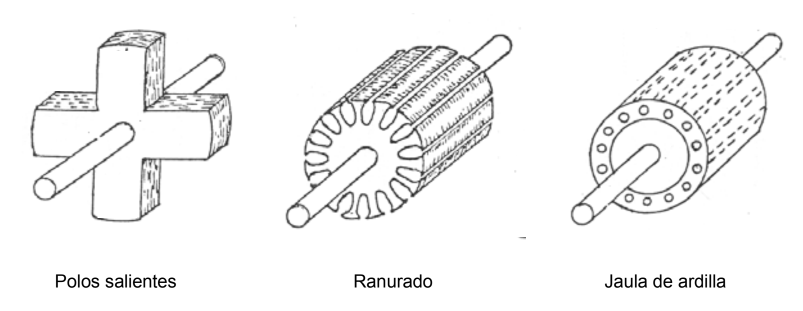


Figura 1.13 Tipos de estatores

1.2.3 Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

a) Totalmente cerrada
b) Abierta
c) A prueba de goteo
d) A prueba de explosiones
e) De tipo sumergible

1.2.4 Base

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

a) Base frontal
b) Base lateral

1.2.5 Caja de conexiones

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

1.2.6 Tapas

Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

1.2.7 Cojinetes

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

a) *Cojinetes de deslizamiento* [ver figura 1.14].- Operan el base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.

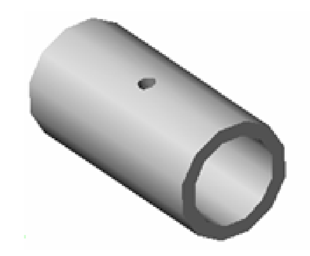


Figura 1.14 Cojinete de deslizamiento

b) *Cojinetes de rodamiento* [véase figura 1.15].- Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares



Figura 1.15 Cojinete de rodamiento

1.3 Características particulares de los motores eléctricos de corriente alterna

Los parámetros de operación de un motor designan sus características, es importante determinarlas, ya que con ellas conoceremos los parámetros determinantes para la operación del motor. Las principales características de los motores de C.A. son:

1.3.1 Potencia: Es la rapidez con la que se realiza un trabajo; en física la Potencia = Trabajo/tiempo, la unidad del Sistema Internacional para la potencia es el joule por segundo, y se denomina watt (W). Sin embargo estas unidades tienen el inconveniente de ser demasiado pequeñas para propósitos industriales. Por lo tanto, se usan el kilowatt (kW) y el caballo de fuerza (HP) que se definen como:

1 kW = 1000 W
1 HP = 747 W = 0.746 kW
1kW = 1.34 HP

1.3.2 Voltaje: También llamada tensión eléctrica o diferencia de potencial, existe entre dos puntos, y es el trabajo necesario para desplazar una carga positiva de un punto a otro:

$$E = [V_A - V_B]$$

Donde: E = Voltaje o Tensión
V_A = Potencial del punto A
V_B = Potencial del punto B

La diferencia de tensión es importante en la operación de un motor, ya que de esto dependerá la obtención de un mejor aprovechamiento de la operación. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2300 V y 6000 V.

1.3.3 Corriente: La corriente eléctrica [I], es la rapidez del flujo de carga [Q] que pasa por un punto dado [P] en un conductor eléctrico en un tiempo [t] determinado.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde: I = Corriente eléctrica
Q = Flujo de carga que pasa por el punto P
t = Tiempo

La unidad de corriente eléctrica es el ampere. Un ampere [A] representa un flujo de carga con la rapidez de un coulomb por segundo, al pasar por cualquier punto.

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

Los motores eléctricos esgrimen distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado.

1.3.3.1 Corriente nominal: En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.

1.3.3.2 Corriente de vacío: Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.

1.3.3.3 Corriente de arranque: Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.

1.3.3.4 Corriente a rotor bloqueado: Es la corriente máxima que soportara el motor cuando su rotor esté totalmente detenido.

1.3.4 Revoluciones por minuto (R.P.M.) o velocidad angular: Se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto; el símbolo de la velocidad angular es omega [W], no obstante, el la industria se utilizan también para referirse, la letras: *"N"* o simplemente las siglas R.P.M.

$$W = N = 2\Pi F \qquad F = \frac{1}{t}$$

Donde:

W=N	=	Revoluciones por minuto o velocidad angular
Π	=	Constante [3.14]
F	=	Frecuencia
t	=	Tiempo

Las unidades de la velocidad son los *radianes por segundo (rad/s)*, sin embargo la velocidad también se mide en *metros por segundo* (m/s) y en *revoluciones por minuto* [R.P.M.]. Para calcular las R.P.M. de un motor se utiliza la ecuación:

$$R.P.M. = \frac{120F}{\#Polos} = \frac{60F}{\#ParesPolares}$$

Donde:

R.P.M.	=	Revoluciones por minuto o velocidad angular
F	=	Frecuencia

1.3.5 Factor de potencia: El factor de potencia [cos Φ] se define como la razón que existe entre Potencia Real [P] y Potencia Aparente [S], siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente:

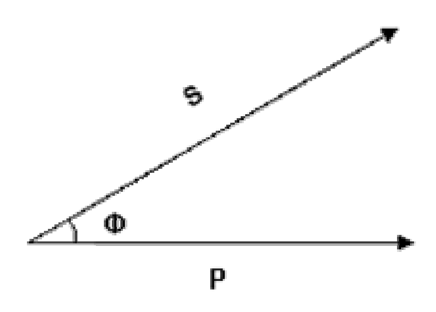


Figura 1.16 **Factor de potencia**

Donde:

P	=	Potencia real
S	=	Potencia aparente

$$\cos\Phi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia nunca puede ser mayor que la unidad, regularmente oscila entre 0.8 y 0.85. En la práctica el factor de potencia se expresa, generalmente, en

tanto por ciento, siendo el 100% el factor máximo de potencia posible. Un factor de potencia bajo es una característica desfavorable de cualquier carga.

1.3.6 Factor de servicio: El factor de servicio de un motor se obtiene considerando la aplicación del motor, para demandarle más, o menos potencia, y depende directamente del tipo de maquinaria impulsada:

$$P = \left[\#F(E)I(\eta)F.P.\right]$$

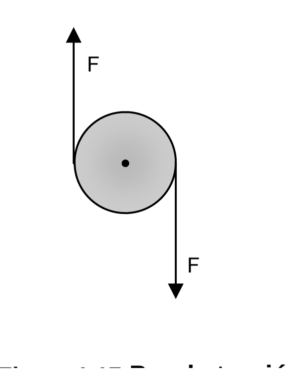
$$\Pr = P\left(F.S.\right) \therefore F.S. = \frac{\Pr}{P}$$

Donde:	P	=	Potencia	η	=	Eficiencia
	#F	=	Número de fases	F.P.	=	Factor de potencia
	E	=	Tensión	Pr	=	Potencia real
	I	=	Corriente	F.S.	=	Factor de servicio

NOTA: Para el numero de fase se utilizara 1 para sistemas monofásicos, 2 para sistemas bifásicos, y para sistemas trifásicos se utilizara $\sqrt{3}$ = 1.732.

1.3.7 Número de fases: Depende directamente del motor y del lugar de instalación, por ejemplo: Para motores con potencia menor o igual a 1 HP (a nivel domestico), generalmente, se alimentan a corriente monofásica (127 V.); cuando la potencia del motor oscila entre 1 y 5 HP lo más recomendable es conectarlo a corriente bifásica o trifásica (220 V.); y para motores que demanden una potencia de 5 HP o más, se utilizan sistemas trifásicos o polifásicos.

1.3.8 Par o Torque : Un par de fuerzas es un conjunto de dos fuerzas de magnitudes iguales pero de sentido contrario. El momento del par de fuerzas o torque, se representa por un vector perpendicular al plano del par.



1.3.8.1 Par Nominal: Es el par que se produce en un motor eléctrico para que pueda desarrollar sus condiciones de diseño.

1.3.8.2 Par de arranque: Es el par que va a desarrollar el motor para romper sus condiciones iniciales de inercia y pueda comenzar a operar.

1.3.8.3 Par máximo: También llamado par pico, es el par que puede desarrollar el motor sin perder sus condiciones de diseño, es decir, que es el limite en el que trabaja el motor sin consumir más corriente y voltaje, asimismo de que sus revoluciones son constantes, y conjuntamente esta relacionado con el factor de servicio.

1.3.8.4 Par de aceleración: Es el par que desarrolla el motor hasta que alcanza su velocidad nominal.

1.3.8.5 Par de desaceleración: Es el par en sentido inverso que debe emplearse para que el motor se detenga.

1.3.8.6 Par a rotor bloqueado: Se considera como el par máximo que desarrolla un motor cuando se detiene su rotor.

1.3.9 Frecuencia: Es el número de ciclos o repeticiones del mismo movimiento durante un segundo, su unidad es el *segundo*$^{-1}$ que corresponde a un *Hertz* [Hz] también se llama *ciclo* $[seg^{-1} = Hertz = Ciclo]$. La frecuencia y el periodo están relacionados inversamente:

$$T = \frac{1}{f} \therefore f = \frac{1}{T}$$

Donde: T = Tiempo o periodo
F = Frecuencia

1.3.10 Deslizamiento: El deslizamiento es la relación que existe entre la velocidad de los campos del estator y la velocidad de giro del rotor:

$$z = \frac{Vc}{Vr}$$

Donde: z = Deslizamiento
Vc = Velocidad de los campos del estator
Vr = Velocidad de giro del rotor

En los motores de corriente alterna de inducción, específicamente de jaula de ardilla, el deslizamiento es fundamental para su operación, ya que de él depende que opere o no el motor.

1.3.11 Eficiencia: Es un factor que indica el grado de perdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico, La eficiencia [η] de una maquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia es igual a el cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada:

$$\eta = \frac{Ts}{Te} = \frac{Ps}{Pe}$$

Donde: η = Eficiencia; Ts = Trabajo de salida; Te = Trabajo de entrada; Ps = Potencia de salida; Pe = Potencia de entrada

La eficiencia se expresa en porcentaje, por lo tanto se le multiplicará por cien, pero al efectuar operaciones se deberá de expresar en decimales.

1.4 Motores monofásicos

Fueron los primeros motores utilizados en la industria. Cuando este tipo de motores está en operación, desarrolla un campo magnético rotatorio, pero antes de que inicie la rotación, el estator produce un campo estacionario pulsante.

Para producir un campo rotatorio y un par de arranque, se debe tener un devanado auxiliar defasado 90° con respecto al devanado principal. Una vez que el motor ha arrancado, el devanado auxiliar se desconecta del circuito.

Debido a que un motor de corriente alterna (C.A.) monofásico tiene dificultades para arrancar, esta constituido de dos grupos de devanados: El primer grupo se conoce como el devanado principal o de trabajo, y el segundo, se le conoce como devanado auxiliar o de arranque. Los devanados difieren entre sí, física y eléctricamente. El devanado de trabajo está formado de conductor grueso y tiene más espiras que el devanado de arranque.

Es importante señalar, que el sentido de giro de las bobinas involucra la polaridad magnética correspondiente, como puede verse en la figura 1.18.

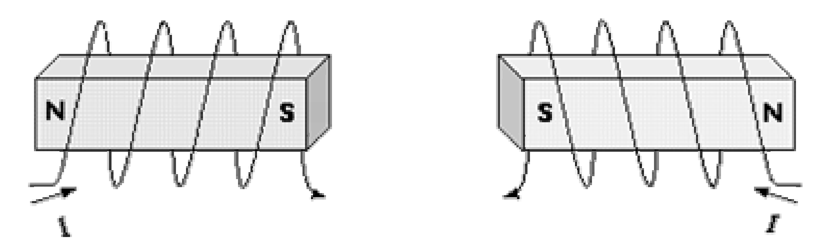


Figura 1.18 Sentido de giro de las bobinas

1.4.1 Tipos y características

Los motores monofásicos han sido perfeccionados a través de los años, a partir del tipo original de repulsión, en varios tipos mejorados, y en la actualidad se conocen:

1.4.1.1 Motores de fase partida: En general consta de una carcasa, un estator formado por laminaciones, en cuyas ranuras aloja las bobinas de los devanados principal y auxiliar, un rotor formado por conductores a base de barras de cobre o aluminio embebidas en el rotor y conectados por medio de anillos de cobre en

ambos extremos, denominado lo que se conoce como una jaula de ardilla. Se les llama así, por que se asemeja a una jaula de ardilla. Fueron de los primeros motores monofásicos usados en la industria, y aún permanece su aplicación en forma popular. Estos motores se usan en: máquinas herramientas, ventiladores, bombas, lavadoras, secadoras y una gran variedad de aplicaciones; la mayoría de ellos se fabrican en el rango de 1/30 (24.9 W) a 1/2 HP (373 W).

1.4.1.2 Motores de arranque con capacitor [figura 1.19]: Este tipo de motor es similar en su construcción al de fase partida, excepto que se conecta un capacitor en serie con el devanado de arranque para tener un mayor par de arranque. Su rango de operación va desde fracciones de HP hasta 15 HP. Es utilizado ampliamente en muchas aplicaciones de tipo monofásico, tales como accionamiento de máquinas herramientas (taladros, pulidoras, etcétera), compresores de aire, refrigeradores, etc. En la figura se muestra un motor de arranque con capacitor.

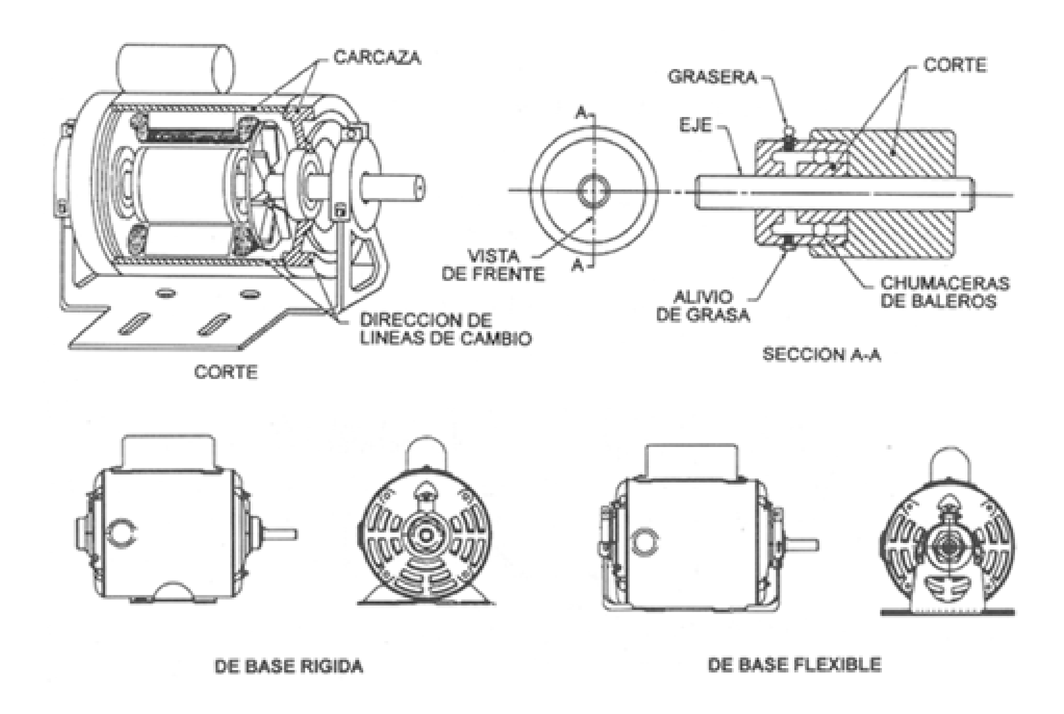


Figura 1.19 Motor de arranque con capacitor
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pág. 103 y 105

1.4.1.3 Motores con permanente: Utilizan un capacitor conectado en serie con los devanados de arranque y de trabajo. El crea un retraso en el devanado de arranque, el cual es necesario para arrancar el motor y para accionar la carga. La principal diferencia entre un motor con permanente y un motor de arranque con capacitor, es que no se requiere switch centrífugo. Éstos motores no pueden arrancar y accionar cargas que requieren un alto par de arranque.

1.4.1.4 Motores de inducción-repulsión [figura 1.20]: Los motores de inducción-repulsión se aplican donde se requiere arrancar cargas pesadas sin

demandar demasiada corriente. Se fabrican de 1/2 HP hasta 20 HP, y se aplican con cargas típicas como: compresores de aire grandes, equipo de refrigeración, etc.

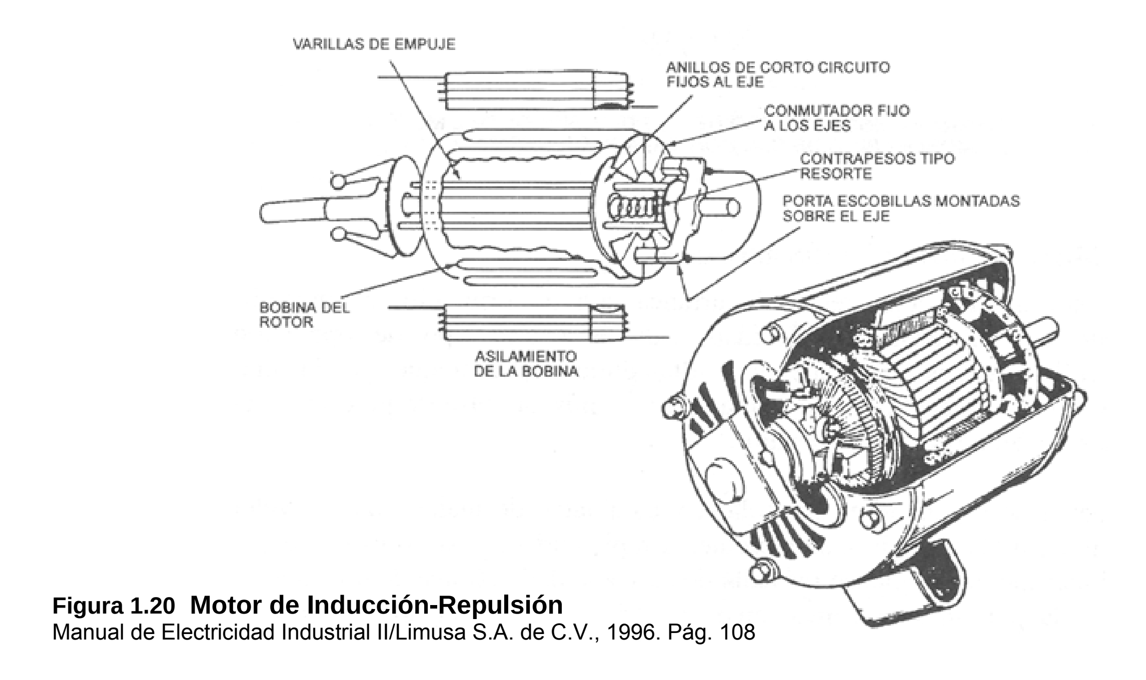
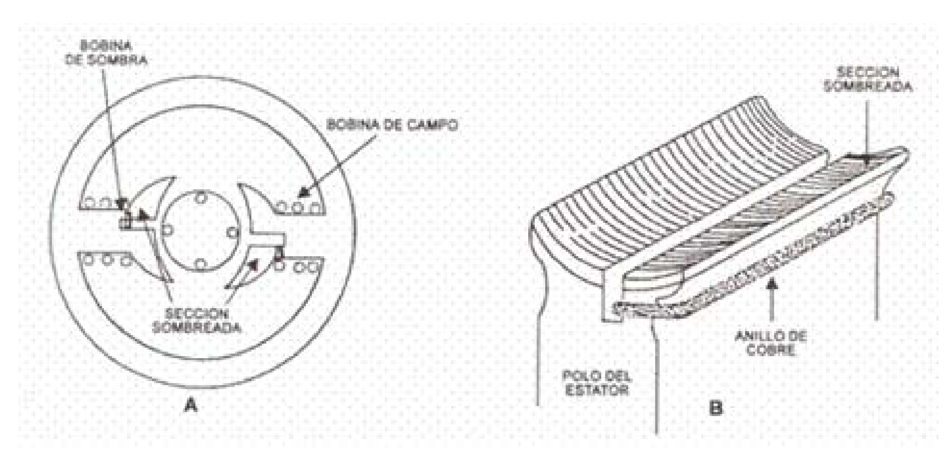


Figura 1.20 Motor de Inducción-Repulsión
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pág. 108

1.4.1.5 Motores de polos sombreados [figura 1.21]: Este tipo de motores es usado en casos específicos, que tienen requerimientos de potencia muy bajos. Su rango de potencia está comprendido en valores desde 0.0007 HP hasta 1/4 HP, y la mayoría se fabrica en el rango de 1/100 a 1/20 de HP. La principal ventaja de estos motores es su simplicidad de construcción, su confiabilidad y su robustez, además, tienen un bajo costo. A diferencia de otros motores monofásicos de C.A., los motores de fase partida no requieren de partes auxiliares (capacitores, escobillas, conmutadores, etc.) o partes móviles (switches centrífugos). Esto hace que su mantenimiento sea mínimo y relativamente sencillo.



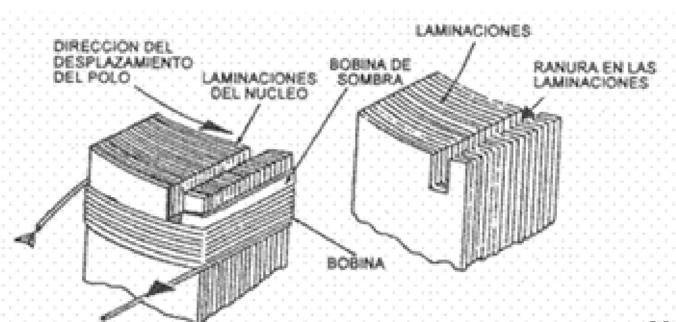


Figura 1.21 Motor de polos sombreados
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pág. 111

1.5 Motores trifásicos

Los motores trifásicos usualmente son más utilizados en la industria, ya que en el sistema trifásico se genera un campo magnético rotatorio en tres fases, además de que el sentido de la rotación del campo en un motor trifásico puede cambiarse invirtiendo dos puntas cualesquiera del estator, lo cual desplaza las fases, de manera que el campo magnético gira en dirección opuesta.

1.5.1 Tipos y características

Los motores trifásicos se usan para accionar máquinas-herramientas, bombas, elevadores, ventiladores, sopladores y muchas otras máquinas. Básicamente están construidos de tres partes esenciales: Estator, rotor y tapas. El estator consiste de un marco o carcasa y un núcleo laminado de acero al silicio, así como un devanado formado por bobinas individuales colocadas en sus ranuras. Básicamente son de dos tipos:

- De jaula de ardilla.
- De rotor devanado

El de jaula de ardilla es el más usado y recibe este nombre debido a que parece una jaula de ardilla de aluminio fundido. Ambos tipos de rotores contienen un núcleo laminado en contacto sobre el eje. El motor tiene tapas en ambos lados, sobre las cuales se encuentran montados los rodamientos o baleros

sobre los que rueda el rotor. Estas tapas se fijan a la carcasa en ambos extremos por medio de tomillos de sujeción. Los rodamientos, baleros o rodamientos pueden ser de rodillos o de deslizamiento

CAPITULO 2
SELECCIÓN DE UN MOTOR ELECTRICO

2.1 Selección de un motor eléctrico

Es importante hacer una buena selección de un motor eléctrico, ya que de ello dependerá la oportunidad de obtener la mayor vida útil del equipo, y una máxima eficiencia, lo que retribuirá directamente a evitar posibles descomposturas o fallas.

2.2 Fundamentos de selección de un motor eléctrico

La selección de un motor depende primordialmente de tres aspectos:

a) La instalación
b) La operación
c) El mantenimiento

Los pasos a seguir para una adecuada selección de un motor eléctrico son:

1) La determinación de la fuente de alimentación
2) La potencia nominal
3) La velocidad de rotación
4) El ciclo de trabajo (continuo o intermitente)
5) El tipo de motor
6) El tipo de carcasa

Así mismo, debemos considerar las condiciones ambientales de instalación, y algunas características como el acoplamiento de la carga, los accesorios, y las modificaciones mecánicas necesarias.

También es importante considerar en la selección de un motor eléctrico, las condiciones de servicio, siendo las más importantes:

a) Exposición a una temperatura ambiente
b) Instalación en partes o alojamientos completamente cerrados o abiertos, buscando una buena ventilación del motor.
c) Operación dentro de la tolerancia de +10% y -10% del voltaje nominal
d) Una operación dentro del valor de frecuencia del +5% y -5%
e) Operación dentro de una oscilación de voltaje del 1% o menos

2.2.1 Par o Torque

Definimos como par al conjunto de dos fuerzas de fuerzas de magnitudes iguales pero de sentido contrario. El par se produce para que el motor rompa sus condiciones iniciales de inercia, y pueda comenzar a operar y desarrollar sus condiciones de diseño. Es importante seleccionar el tipo de arranque adecuado, para que el motor pueda desarrollarse convenientemente.

2.2.2 Velocidad

En un motor la velocidad se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto. Para calcular la velocidad de un motor se utilizamos la ecuación:

$$R.P.M. = \frac{120F}{\#Polos} = \frac{60F}{\#ParesPolares}$$

Donde: R.P.M. = Revoluciones por minuto o velocidad angular
F = Frecuencia

2.2.3 Potencia

Al diseñar un sistema mecánico, a menudo hay que tener en cuenta no solo cuanto trabajo ha de ejecutarse, sino también la rapidez con que debe de hacerse, la misma cantidad se realiza al levantar un cuerpo a determinada altura, tanto si tardamos en ello 1 segundo o un año, pero la rapidez con que se efectúa es muy diferente en ambos casos.

Definimos potencia, como la rapidez con que se lleva a cabo un trabajo, por lo que es necesario definir, en la aplicación de un motor la potencia que se le va a demandar.

Huelga decir, que en el caso de los motores eléctricos para determinar su potencia utilizamos la siguiente fórmula:

$$P = [(\#F)E(I)F.P.(\eta)F.S.]$$

Donde: P = Potencia
#F = Número de fases
E = Tensión
I = Corriente
F.P. = Factor de potencia

2.2.4 Sentido de giro

El sentido de giro esta relacionado directamente con la conexión de las bobinas auxiliares con respecto a las de trabajo. El motor tiene un sentido de rotación, tan es así, que si se quiere que gire en sentido contrario, solo hay que permutar o invertir las conexiones de las auxiliares, la entrada por la salida o viceversa en las dos líneas.

En los estatores de polos salientes, el auxiliar es un anillo de cobre montado en una hendidura del mismo polo, y que por inducción forma otra polaridad, por lo que se le llama de polo sombreado, pero retrazado en tiempo, lo que genera un movimiento de balance magnético, obligando el giro en un sentido.

Para que el motor gire en sentido contrario, solo hay que desarmarlo y armar el estator, de modo que lo que estaba de frente quede atrás y así el anillo que puede estar a la derecha, quedará a la izquierda.

2.2.5 Pérdidas y eficiencia

En un motor la eficiencia de la potencia se ve afectada por las perdidas mecánicas y las perdidas eléctricas como se muestra en la figura 2.1. Así que la potencia real [Pr] es el producto de la tensión por la corriente, menos la potencia de perdidas [Pp].

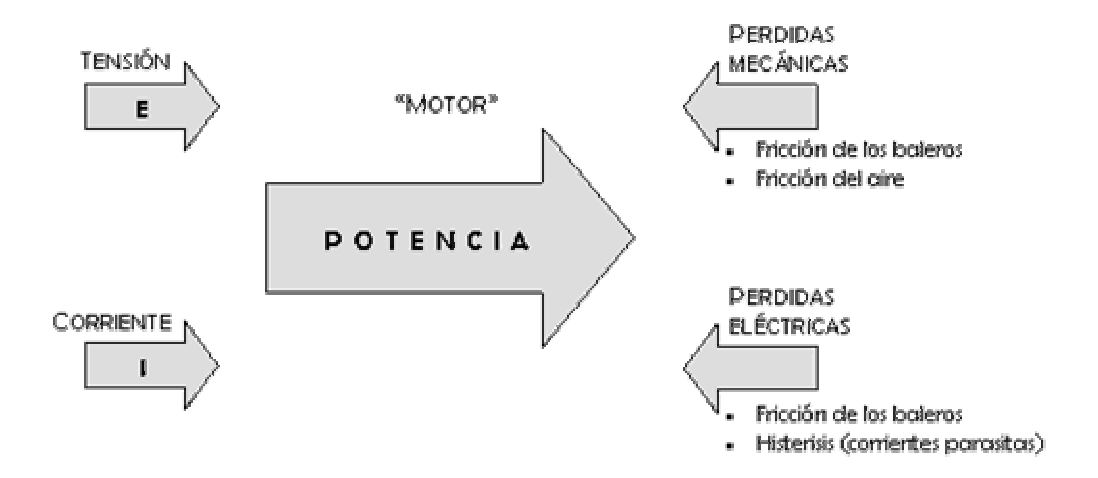


Figura 2.1 **Pérdidas y eficiencia**

$$\mathrm{Pr} = EI - Pp$$

Donde:	Pr	=	Potencia real	I	=	Corriente
	E	=	Tensión	Pp	=	Potencia de perdidas

2.3 Aplicación

Como sabemos, el motor eléctrico es una maquina rotatoria de movimiento infinito, que convierte energía eléctrica en energía mecánica, como consecuencia desarrollamos directamente en su aplicación trabajos mecánicos primordialmente rotatorios, sin embargo, mediante dispositivos, podemos convertir el movimiento rotatorio en movimientos bien determinados, dependiendo de su aplicación.

2.3.1 Tipo de maquinaria impulsada

La aplicación de un motor se determina directamente por las características de trabajo que va a desarrollar, particularmente para cada aplicación, ésta es determinada concisamente por el factor de servicio, que lo definimos como las

características de aplicación del motor eléctrico según el requerimiento de la maquina impulsada. Pueden ser: bombas hidráulicas, compresores, maquinas herramienta [figura 2.2], ventiladores, molinos, reloj, reproductor de CD, sistemas de transporte…, por citar algunos.

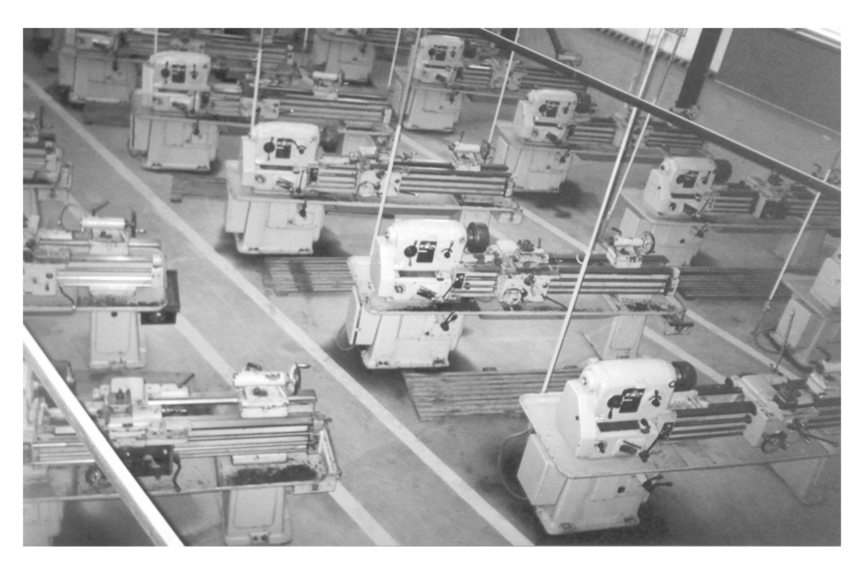


Figura 2.2 **Tornos impulsados por motores eléctricos de C.A.**

2.3.2 Características de instalación

Las características de instalación están formadas por un conjunto de elementos, que sirven para dotar de las mejores condiciones a una maquina o equipo para su óptimo funcionamiento, como puede ser:

Instalación:
- Posición
- Cimentación
- Condiciones Ambientales
  - Temperatura
  - Ambiente

Condiciones de alimentación
- Corriente Directa
  - Voltaje
  - Frecuencia
- Corriente Alterna
  - Numero de fases
  - Frecuencia
  - Factor de potencia (cos Φ)
  - Voltaje

2.3.3 Condiciones de alimentación

Los motores eléctricos pueden ser alimentados por sistemas de una fase, denominándose motores monofásicos; y si son alimentados por 2 líneas de alimentación, se les nombra motores bifásicos; siendo así que los motores

trifásicos son aquellos que se alimentan de tres fases, también conocidos como sistemas polifásicos. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2 300 V y 6 000 V.

CAPITULO 3
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

3.1 Concepto de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo ha adquirido una enorme importancia, ya que al considerarlo como parte de la conservación de los equipos, con un enfoque a la productividad, permite obtener mayores y mejores beneficios.

En este contexto, el llamado mantenimiento preventivo juega un papel importante, ya que cambia la función de simplemente reparar al equipo o reemplazar al que se considera desechable por el estado que guarda. Ahora, se trata de diagnosticar el estado que tiene un equipo antes de que falle, y de esta manera evitar su salida de producción, o bien contar con las técnicas de reparación apropiadas cuando hubiera que hacer esta función.

3.1.1 Mantenimiento preventivo y sus alcances

El mantenimiento preventivo abarca todos los planes y acciones necesarias para determinar y corregir las condiciones de operación que puedan afectar a un sistema, maquinaria o equipo, antes de que lleguen al grado de mantenimiento correctivo, considerando la selección, la instalación y la misma operación.

El mantenimiento preventivo bien aplicado disminuye los costos de producción, aumenta la productividad, así como la vida útil de la maquinaria y equipo, obteniendo como resultado la disminución de paro de maquinas.

Las actividades principales del mantenimiento preventivo son:

a) Inspección periódica con el fin de encontrar las causas que provocarían paros imprevistos.
b) Conservar la planta, anulando y reparando aspectos dañinos cuando apenas comienzan.

Para llevar un control de los resultados, se utiliza un registro de equipo, además de que auxilia de un programa de mantenimiento preventivo.

3.2 Fallas posibles en su instalación

Una carga excesiva puede llevar rápidamente a una falla en el motor. Es posible que se seleccione correctamente al motor para su carga inicial; sin embargo, un cambio en su carga o en el acoplamiento de accionamiento, se manifestará como una sobrecarga en el motor. Las rodamientos o baleros comenzarán a fallar, los engranes están expuestos a presentar fallas en los dientes, o bien se presentará algún otro tipo de fricción que se manifieste como sobrecarga. Cuando se presenta una sobrecarga, el motor demanda más corriente, lo cual incrementa la temperatura del mismo, reduciendo la vida del aislamiento.

Los problemas en baleros y rodamientos son una de las causas más comunes de fallas en los motores, también la alineación errónea de éstos y la carga,

malos acoplamientos por poleas y bandas, o bien errores en la aplicación de engranes o piñones, son causas de fallas mecánicas. Por otro lado, se debe hacer un correcto balanceo dinámico para evitar problemas de vibración.

Así mismo, una incorrecta alimentación de voltaje al motor, puede reducir la vida o causar una falla rápida si la desviación del voltaje es excesiva. Un voltaje bajo soporta una corriente mayor que la normal. Si el voltaje decrece en una forma brusca, se presenta una corriente excesiva que sobrecalienta al motor. Un voltaje alto en la línea de alimentación a un motor reduce las pérdidas, pero produce un incremento en el flujo magnético, con un consecuente incremento de las pérdidas en el entrehierro.

3.2.1 Lubricación

Para la buena lubricación se debe utilizar el aceite o grasa recomendado, en la cantidad correcta. Los distribuidores de lubricantes pueden ayudar si hay un problema con el grado de lubricante, y, en especial, para los cojinetes que requieren grasa para alta temperatura.

Hay que quitar o expulsar toda la grasa vieja antes o durante la aplicación de la grasa nueva. El espacio total para grasa se debe llenar al 50% de su capacidad para evitar sobrecalentamiento por el batido excesivo.

Para los cojinetes lubricados con aceite, suele ser suficiente un aceite para máquinas de buena calidad. Hay que comprobar el nivel y la libre rotación de los anillos después de poner en marcha el motor.

En los motores antiguos, a veces se desprenden los dispositivos para inspección del nivel de aceite al cambiarlos de lugar. Si se instalan conexiones de repuesto, hay que determinar que el nivel no esté muy alto ni muy bajo. Si está muy alto, el exceso de aceite se escapará y habrá acumulación de polvo y mugre, y puede mojar el aislamiento de los devanados. El manejo brusco o descuidado de un motor puede producir grietas en el depósito de aceite, y al poco tiempo ocurrirán fugas, las cuales se notan por el goteo de aceite de los cojinetes cuando el motor está parado. Para localizar las grietas, hay que limpiar el exterior de la cubierta de cojinete con un disolvente y secarlo bien con trapos. Después de que el motor ha estado parado algunas horas, será fácil localizar las posibles grietas.

El exceso de aceite ocasiona otros problemas en los motores de corriente alterna fraccionarios con interruptores internos para arranque, el aceite que se escurre llega a los contactos y, en un momento dado, puede ocasionar un mal contacto.

La quemadura total de los contactos puede impedir que se cierre el devanado auxiliar o de arranque, o que los contactos se suelden entre sí. Cuando el interruptor de arranque se queda abierto, el motor no puede arrancar y, si no tiene protección adecuada, se puede quemar el devanado principal; en el segundo caso, se puede quemar el devanado auxiliar o de arranque. Si el motor es del tipo de arranque con capacitor, éste se puede fundir antes de que se

queme el devanado de arranque. En muchos casos, los capacitores tienen fusible de seguridad que se puede sustituir.

3.2.1.1 Precaución para el manejo de lubricantes

Debido al riesgo de que entren pequeñas partículas de suciedad en los rodamientos, debe de considerase que:

- La grasa o aceite deben de almacenarse en contenedores cerrados, con el fin de que se mantengan limpios.
- Las grasas y aceiteras deben limpiarse antes de ponerles lubricante, para evitar que contaminen a los rodamientos.
- Debe evitase una lubricación excesiva de los rodamientos de bolas y rodillos, ya que puede resultar en altas temperaturas de operación, en un rápido deterioro de material lubricante, y una falla prematura de los rodamientos.

3.2.2 Ruido

En los últimos años, se ha dedicado creciente atención a la medición y la reducción del ruido producido por los motores eléctricos. En el área industrial ese interés está relacionado con la también creciente preocupación por los efectos ambientales del ruido y la respectiva legislación sobre la comodidad sonora.

El proyecto adecuado de los motores, reduciendo los factores que dan origen al ruido, casi siempre exigirá una serie de accesorios, o incluso el confinamiento acústico del motor. Todo esto representa un coste adicional y debe compararse con el beneficio obtenido.

Se debe tener en cuenta que no basta especificar el valor bajo de ruido para el motor, a fin de conseguir un ambiente con poco ruido. Muchas veces, el equipo accionado representa una contribución mayor a la incomodidad sonora que el motor, por ser una fuente de mayor intensidad sonora, o por su distribución de frecuencias.

3.3 Clasificación del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en una serie de trabajos que es necesario desarrollar para evitar que maquinaria pueda interrumpir el servicio que proporciona, básicamente, se divide en tres elementos fundamentales:

1. Selección
2. Instalación
3. Montaje

3.3.1 Selección

El mantenimiento empieza en la selección del motor. El grado de selección y aplicación incorrecta de un motor puede variar ampliamente, por lo que es necesario, que se seleccione correctamente el tamaño apropiado del motor de acuerdo a la carga.

Los ciclos de trabajo son los que más dañan a los motores. Cuando no son seleccionados en forma apropiada, los arranques, los paros y frenados bruscos, así como los períodos de aceleración largos, conducen a fallas en el motor.

La consideración de la altitud sobre el nivel del mar del sitio de instalación del motor, es un factor que con frecuencia no es considerado. Como se sabe, a grandes alturas la densidad del aire es más baja y se reduce la efectividad de enfriamiento. Esta reducción significa en forma aproximada que la temperatura de operación se incrementa un 5% por cada 300 m. de elevación sobre el nivel del mar.

3.3.2 Instalación

Los errores en la instalación de los motores pueden ser una de las causas de falla. Algunas ocasiones, el tamaño de los tomillos o anclas de montaje y sujeción no es el apropiado, o bien se tienen problemas de alineación; lo que conduce a problemas de vibraciones con posibles fallas en las rodamientos o hasta en el eje del rotor. El montaje y la cimentación resultan de fundamental importancia para evitar problemas mecánicos y eventualmente eléctricos.

3.3.3 Montaje

Es posible que se seleccione correctamente al motor para su carga inicial, y que su instalación haya sido adecuada, sin embargo, un cambio en su carga o en el acoplamiento de accionamiento, se manifestará como una sobrecarga en el motor. Las rodamientos o baleros comenzarán a fallar, los engranes están expuestos a presentar fallas en los dientes, o bien se presentará algún otro tipo de fricción que se manifieste como sobrecarga. Cuando se presenta una sobrecarga, el motor demanda más corriente, lo cual incrementa la temperatura del mismo, reduciendo la vida del aislamiento.

Los problemas en baleros y rodamientos son una de las causas más comunes de fallas en los motores, también la alineación errónea de éstos y la carga, malos acoplamientos por poleas y bandas, o bien errores en la aplicación de engranes o piñones, son causas de fallas mecánicas. Por otro lado, se debe hacer un correcto balanceo dinámico para evitar problemas de vibración. Una carga excesiva puede llevar rápidamente a una falla en el motor.

3.4 Objetivo del mantenimiento preventivo a un motor

El principal objetivo del mantenimiento, es garantizar que el equipo se encuentre en óptimas condiciones de operación, y aumentar su vida útil. El mantenimiento empieza en la selección del motor. Frecuentemente se hace la selección sin considerar las implicaciones en el servicio y mantenimiento del motor, de lo que resultan consecuencias económicas desfavorables.

3.4.1 Planteamiento

Antes de poder hacer una planeación eficaz, es necesario conocer el sistema operativo y el grado de responsabilidad y de autoridad asignado por la

administración o el gerente, a un nivel dado de supervisión, así como la asignación de costos y presupuestos. Se debe mencionar que la autoridad no siempre es conmensurada con la responsabilidad, y que los presupuestos no siempre van de acuerdo con la responsabilidad o la autoridad.

El sistema que suele ser más eficaz es hacer que producción, mantenimiento preventivo y sus respectivos presupuestos pertenezcan al mismo grado de autoridad. Así, un supervisor puede ponderar todas las probabilidades y tomar una decisión. Los datos de antes y después se pueden obtener con facilidad y rápidamente se pueden deslindar responsabilidades.

Este grado igual de autoridad quizá no sea eficaz en plantas de alta producción, en donde un solo supervisor de mantenimiento preventivo puede tener muchos supervisores de producción de su misma categoría de autoridad, y no es fácil concertar una reunión con ellos. El resultado es que el supervisor de mantenimiento preventivo tiene una carga de trabajo excesiva.

Un sistema que ha dado buenos resultados es el de la asignación de los costos de los desperfectos. Si el departamento de mantenimiento preventivo solicita el paro de una máquina, pero el departamento de producción se rehúsa a hacerlo, entonces, cualquier tiempo perdido y sus costos asociados son cargables a producción.

Por el contrario, si el departamento de mantenimiento preventivo no previó la falla, se le cargan los costos de pérdida de producción y de reparación. Sin embargo, este sistema puede producir serios problemas si el programa no se aplica en forma equitativa.

El mantenimiento preventivo es importante en cualquier instalación, pero es solo función, y no debe interferir con la función de línea de producción. La interferencia con la producción debe ser mínima, y es obligatoria la cooperación de mantenimiento preventivo.

Con una planeación cuidadosa, gran parte del trabajo de mantenimiento preventivo se puede hacer mientras las máquinas están en plena producción, pues es cuando mejor se puede observar la conmutación, vibraciones, calentamiento y temperaturas. Sin embargo, se debe dar más importancia a la seguridad cuando se examinan las máquinas y motores en funcionamiento. En general, el ingeniero de seguridad de la planta debe estar informado de todos los programas de mantenimiento, pues sus conocimientos pueden ser muy valiosos.

Otro punto importante es que mantenimiento preventivo debe conocer por anticipado los programas de las máquinas y motores, y planear las inspecciones cuando los requisitos de producción son menos estrictos.

3.4.2 Registros

Cualquier programa de mantenimiento preventivo requiere llevar registros y mediciones en ciertas condiciones. El hecho de que un motor hoy tenga una

resistencia de 20 megaóhms en el aislamiento, significa muy poco, salvo que se sepa lo que ha ocurrido en el pasado.

Este método de investigar es muy útil para el mantenimiento preventivo, siempre y cuando se lleven registros. Algunas empresas, tienen disponibles tarjetas de muestreo de mantenimiento preventivo, aunque no suelen servir para todos los departamentos de mantenimiento preventivo sin algunas modificaciones. Se debe tener suficiente información en la tarjeta para que resulte útil, a veces se utilizan libros para registrar.

Las políticas de la empresa determinarán si la tarjeta debe incluir información como el número de serie del fabricante, o un número de control de la empresa. Se deben mencionar las piezas de repuesto disponibles, en particular para motores iguales, a fin de disminuir el inventario de piezas.

En las plantas grandes, se debe señalar la posición de la máquina o del motor para que los empleados nuevos la encuentren con facilidad, y quizá para control de inventario.

En la tarjeta del motor deben estar las capacidades de carga o las especificaciones originales. Esa información es indispensable para un programa eficaz de mantenimiento preventivo.

Los programas de inspección varían mucho de una máquina a otra. Si se comparan los resultados de una inspección con alguna anterior, se puede acortar o alargar los programas. En un número creciente de plantas se utilizan los sistemas de tarjetas para los programas de mantenimiento preventivo, y pueden producir listados que señalen:

- Nombre de la empresa.
- Número de la empresa.
- Ubicación de la máquina.
- Inspecciones a efectuar en el siguiente periodo.
- Especificar si las inspecciones se harán durante el tiempo de paro o con carga.
- Calcular tiempo de paro para la inspección.
- Tempo total de paro de una máquina determinada.
- Costo de tiempo de paro o de mantenimiento para la máquina determinada.
- Empleado que efectuó el trabajo.

3.4.3 Partes de repuesto

Las piezas de repuesto son las partes cuya duración es menor que los devanados, y estos últimos son los que determinan la vida del motor. Las partes de reserva son piezas o ensambles duplicados que se deben reemplazar en caso de algún accidente de operación. Se emplean para que siga funcionando el motor, y reducir la pérdida de tiempo en caso de alguna falla.

En general, se incurre en deficiencias respecto al almacenamiento de piezas de repuesto. Esto se ha debido a recomendaciones incompletas o vagas de algunos fabricantes, falta de planeación o de conocimientos del personal de compras o de la planta, y falta de comunicación entre el fabricante y el usuario.

No hay una fórmula mágica para determinar que piezas de repuesto se deben llevar en existencia, pero un método lógico, es considerar las ventajas claras de tener existencia de piezas de repuesto y ponderarlas contra las siguientes desventajas:

1. Mayor inversión
2. Manejo de registros
3. Control y recuento de inventario
4. Almacenes y espacio adecuados requeridos
5. Obsolescencia de las piezas
6. Posibilidad de tener que cambiarlas de lugar por ampliaciones o cambios en la planta
7. Posibilidad de que se sigan teniendo en almacén incluso si se ha desechado el motor original
8. Daños a las piezas por envejecimiento, almacenamiento incorrecto y condiciones atmosféricas adversas
9. Tener partes de reserva duplicadas

No se debe de interpretar que el gran número de desventajas signifiquen que no se deben almacenar las piezas de repuesto. Sólo se pide tener en cuenta esos factores. Las siguientes consideraciones también son importantes para tener una existencia de piezas de repuesto:

a. Frecuencia de las fallas
b. Importancia de la máquina
c. Disponibilidad de un motor sustituto o para repuesto
d. Número de motores iguales
e. Equipo auxiliar
f. Obsolescencia de los motores y maquinas
g. Escasez de materiales
h. Piezas que se desgastan
i. Registros de piezas de repuesto
j. Almacenamiento de las piezas
k. Corta duración en almacén

3.5 Inspección

La mayoría de los problemas comunes que presentan los motores eléctricos se pueden detectar por una simple inspección, o bien efectuando algunas pruebas. Este tipo de pruebas se les conoce como pruebas de diagnóstico o de verificación, se inician con la localización de fallas con las pruebas más simples, y, el orden en que se desarrollan normalmente tiene que ver con el supuesto problema.

La forma de identificar los problemas tiene relación con el tamaño del motor y su tipo, especialmente cuando se trata de motores monofásicos en donde hay mayor variedad constructiva.

3.5.1 Alcances del mantenimiento

El mantenimiento preventivo sigue la curva inversa de las utilidades decrecientes. Cuando se da un mantenimiento excesivo al equipo eléctrico, el costo se puede volver prohibitivo; pero si se descuida por completo el mantenimiento, los resultados serán fallas prematuras y reparaciones costosas. Por tanto, es necesario determinar la cantidad óptima de mantenimiento preventivo requerido para mantener la maquinaria eléctrica en buenas condiciones de funcionamiento. Se debe examinar cada caso individual y determinar los siguientes aspectos:

Costos de mantenimiento contra costo de la máquina. En muchas empresas acumulan los costos de mantenimiento y los contabilizan como una relación contra las utilidades totales, las facturaciones totales o los costos totales. Aunque esto pueda servir como guía entre industrias similares, el único método lógico y los efectos reales se deben considerar como:

$$\frac{\text{Mantenimiento de la máquina}}{\text{Costo de la máquina}}$$

Mantenimiento contra tiempo de paro. Para tomar la decisión de mantenimiento de la máquina contra el costo del tiempo de paro, se debe determinar cuál será el efecto si falla el motor. En este caso la decisión será:

$$\frac{\text{Mantenimiento de la máquina}}{\text{Costo del tiempo de paro}}$$

Mantenimiento contra los riesgos. Se debe de tener en cuenta el costo relativo del mantenimiento en contra de los riesgos totales en la instalación. Este aspecto es el más difícil de responder, pero a veces se contesta con:

$$\frac{\text{Costos de mantenimiento}}{\text{Riesgos totales}}$$

3.5.2 Condiciones ambientales

Se debe adecuar el grado de protección mecánica de la cubierta del motor a las características ambientales del local de instalación: presencia de agentes químicos agresivos, polvo, humedad, partículas abrasivas, etc.; se debe tener en cuenta también la influencia de estos agentes sobre el sistema aislante. Se puede incluso considerar la noción de agresividad del ambiente. Existen dos tipos de ambientes agresivos: los mecánicamente agresivos y los químicamente agresivos. Es relativamente fácil la lista de algunas características que definen un ambiente no agresivo:

- Ausencia de polvo que pueda provocar abrasión en las partes de los equipos instalados, o disminuir la ventilación por la obstrucción de conductos de ventilación.
- Ausencia de gases, vapores o líquidos que puedan corroer o atacar superficies o partes de los equipos; se debe tener en cuenta que la presencia de determinadas substancias en la atmósfera puede afectar incluso al sistema aislante y/o a las grasas o aceites utilizados en la lubricación de los cojinetes.

3.5.3 Aislamientos

Para los motores es primordial e insustituible el uso de aislantes, puesto que en sus propiedades se sabe que no son conductores de la electricidad, por lo que es de suma importancia su aplicación, ya que es necesario que el motor solo tenga contacto magnético y no eléctrico en algunas partes como entre los mismos devanados, es decir cada espira esta aislada eléctricamente de las otras.

3.5.4 Tipos de arranque

Una de las partes más importantes del motor eléctrico es su mecanismo de arranque. Para los motores monofásicos se usa un tipo especial a base de un switch centrífugo o de capacitor.

El switch centrífugo desconecta el devanado de arranque cuando el motor ha alcanzado de un 75% a un 80% de su velocidad de operación, de manera que a velocidad nominal el motor funciona sólo con su devanado de operación.

Este switch está normalmente cerrado cuando el motor está en reposo, al arrancar permanece cerrado hasta que se alcanza del 75% al 80% de su velocidad de operación. A esta velocidad un mecanismo a base de resorte, debido a la fuerza centrífuga, el rotor vence la fuerza que hace que el switch permanezca cerrado, y se abre, desconectando las bobinas de auxiliares.

El motor continúa operando a consecuencia de las corrientes inducidas en el devanado del rotor, debido a su movimiento. Si el switch centrífugo no está cerrado cuando el motor es energizado, éste no arrancará. Puede hacer un fuerte ruido y demandar una corriente excesiva. Debido a que el rotor no gira su impedancia es aproximadamente igual a la resistencia de las barras del rotor, y actúa como el secundario de un transformador en corto; esto hace que el primario (devanado de trabajo) demande mucha corriente, y si esta condición permanece por mucho tiempo, entonces el devanado de trabajo sufre un calentamiento excesivo.

Los motores de arranque con capacitor también están equipados, con devanados de trabajo y de arranque, asimismo, el motor tiene un condensador (capacitor) que permite tener un mayor par de arranque. La corriente en el devanado de arranque que es liberada por el capacitor, se adelanta al voltaje en el devanado de trabajo, obteniendo de esta manera un desplazamiento angular mayor entre los devanados de arranque y de trabajo, esto proporciona un incremento en el par de arranque para el motor.

3.5.5 Sentido de rotación

El sentido de giro esta relacionado directamente con la conexión de las bobinas auxiliares con respecto a las de trabajo. El motor tiene un sentido de rotación, tan es así, que si se quiere que gire en sentido contrario, solo hay que permutar o invertir las conexiones de las auxiliares.

3.5.6 Velocidad de giro

La velocidad en los motores de inducción monofásicos o trifásicos, depende del número de polos y la frecuencia de la corriente alterna. A mayor frecuencia de la corriente alterna, será mayor la velocidad; y mayor numero de polos, menor será la velocidad. Siendo así que el motor de mayor velocidad será el de 2 polos.

El principio es que en un motor de 2 polos, al recibir un medio ciclo de la corriente alterna, forma una atracción que lo obliga a dar media vuelta para recorrer el espacio que ocupa un polo, y al llegar el otro medio ciclo recorrerá el otro polo, completando una vuelta por cada ciclo. Si la corriente alterna es de 60 ciclos por segundo, el motor dará 60 vueltas por segundo (3600 revoluciones por minuto), en un motor de 4 polos con un ciclo, dará sólo media vuelta, porque los polos ocupan la cuarta parte del estator, que necesitará 4 medios ciclos para dar una vuelta. La relación que existe, lo da la formula:

$$R.P.M. = \frac{120F}{\#Polos} = \frac{60F}{\#ParesPolares}$$

Donde: R.P.M. = Revoluciones por minuto o velocidad angular
F = Frecuencia

Esta formula nos da la velocidad sincrona, es decir, la velocidad de acuerdo al ciclo, pero hay un resbalamiento debido a la carga que se pierde, más o menos 3%.

3.5.7 Número de ranuras del estator

Los estatores ranurados para motores monofásicos y trifásicos, puede tener un número estandarizado de ranuras de:

No. de polos	R.P.M.
2	3450
4	1725
6	1150
8	860

Para motores grandes el número es ya ilimitado, en las cuales hay que distribuir las bobinas que componen los polos.

3.5.8 Vibraciones

Hay tendencia a asociar la vibración del motor al equilibrio de sus partes giratorias. Aunque es verdad que un desequilibrio del rotor propicia la vibración del motor, un motor equilibrado puede vibrar por diversas razones.

En máquinas de corriente alterna, una causa de las vibraciones puede ser el desequilibrio magnético. Las fuerzas que actúan en el entrehierro entre el estator y el rotor tienden a aproximarlos y producen vibraciones con el doble de frecuencia de alimentación. Aunque en esas condiciones una pequeña vibración sea normal, una asimetría en el entrehierro puede reforzar esa vibración e incluso producir el ruido. Tal asimetría puede originarse por una ovalización de la superficie interna del estator o por deflexiones en el eje. Una transmisión por poleas y correas excesivamente tensada puede causar esa situación. El mismo efecto ocurre cuando hay una asimetría en el arrollamiento estatórico: una región del entrehierro ejerce mayor fuerza de atracción.

3.5.9 Elementos rotatorios

Cuando las rodamientos o cojinetes de un motor están desgastados, se produce un descentramiento del rotor del motor, y, debido a que el entrehierro (espacio de aire entre rotor y la armadura del estator) es normalmente un espacio muy pequeño, este descentramiento produce en ocasiones un roce mecánico entre el rotor y el estator, con lo cual se origina un deterioro en los devanados. Este tipo de falla se puede reconocer observando las marcas producidas por el roce entre el rotor y el estator. Cuando ocurre este problema de rodamientos desgastados, es probable que el motor no funcione, o, si lo hace, probablemente haga ruido, producido por el roce mecánico; debido a esto, se debe vigilar que no exista juego de la flecha sobre la rodamientos, para esto se intenta mover en el sentido vertical el extremo libre de la flecha o eje, es decir, el del lado de accionamiento.

Cuando existe juego vertical, es señal de que el rodamiento o la misma flecha están desgastadas, y entonces habrá que sustituir uno u otro. El tratamiento que se da a los cojinetes ovaría ligeramente, dependiendo de su tipo, ya que éstas pueden ser: de tipo deslizante o de rodillos o rodamientos de bolas.

3.5.9.1 Tipos de cojinetes

Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

1. Cojinetes de desplazamiento
   - Rodamientos deslizantes fijos o rodamientos
   - Cojinetes deslizantes macizos
     - Tipo manguito
     - Tipo casquillo
   - Cojinetes deslizantes partidos
2. Cojinetes de rodamiento
   - Rodamientos radiales
     - De bolas o baleros

Una fila, ranura profunda
Dos filas, ranura profunda
Una fila, contacto angular
Dos filas, contacto angular
Autoalineantes

- De Rodillos
  Cilíndricos
  Una fila, esféricos
  Dos filas, esféricos
  Ahusados
  De agujas
- Rodamientos axiales o de empuje
  - De bolas
  - De rodillos, cilíndricos
  - De rodillos, esféricos
  - De rodillos, cónicos

3.5.9.2 Selección del tipo de cojinete

Generalmente, cuando debe remplazarse un rodamiento, es recomendable seleccionar uno precisamente igual, ya que depende de las características del motor; sin embargo, los criterios de selección de los cojinetes son:

Cojinetes de desplazamiento:

Rodamientos deslizantes fijos o chumaceras. Se utilizan generalmente en motores que giran a velocidades relativamente bajas.

Cojinetes deslizantes macizos. Son los más utilizados en motores eléctricos existen de dos tipos:

Tipo manguito.- No tienen posibilidades de ajuste, y suelen presentar problemas cuando no se les mantiene bien lubricados. Son fabricados en tamaños estándares, lo que facilita su reemplazo.

Tipo casquillo.- Tienen una pequeña conicidad en el exterior para proporcionar un ajuste por el desgaste.

Cojinetes deslizantes partidos. Se utilizan con frecuencia en maquinas más grandes, que operan a velocidades menores. Se ajustan, generalmente, por medio de calzas.

Cojinetes de rodamiento:

Rodamientos radiales:

Rodamientos de bolas o baleros.- Tienen un bajo coeficiente de fricción y se adaptan a altas velocidades. Pueden absorber cargas radiales y de empuje, de medianas a altas. Pueden ser con un diseño de una fila para cargas de ligeras a medinas, y de dos filas para cargas pesadas. No se pueden ajustar.

Rodamientos de bolas de contacto angular y de una fila.- Están diseñados para altas cargas radiales, de un alto empuje en una dirección y para alta velocidad.

Rodamientos de bolas de contacto angular y doble fila.- Soportan altas cargas radiales y de empuje en una y otra dirección. Adecuados para alta velocidad.
Rodamientos de rodillos.- Cuando es necesario soportar cargas pesadas a velocidades de medianas a altas.

Rodamientos de rodillos cilíndricos.- Están diseñados para altas cargas radiales, a velocidades de medianas a altas. Pueden ser de uno o dos elementos rotatorios.
Rodamientos autoalineantes de doble fila.- Pueden absorber cargas radiales muy altas, y cargas de empuje axial moderadas en ambas direcciones. Tienen dos hileras de rodillos ya sea esféricos o de barril.
Rodamientos de rodillos cónicos.- Son capaces de absorber altas cargas radiales y de empuje a velocidades moderadas. La posibilidad de ajuste se hace versátil. Se utilizan extensamente en la fabricación de maquinas-herramienta. Fe fabrican de una, dos, o cuatro filas.
Rodamientos de agujas.- Esta fabricados de largos rodillos cilíndricos de pequeño diámetro. Se utilizan cuado se requiere una mayor superficie de apoyo y se tiene un espacio limitado. Están diseñados para cargas radiales y velocidades moderadas.

Rodamientos axiales o de empuje.

Rodamientos de empuje de bolas.- Están diseñados para cargas de empuje medianas a altas, en velocidades moderadas. No se les puede aplicar carga radial. Existen dos clases de rodamientos de empuje rodillos:
Cilíndricos.- Están diseñados para altas cargas de empuje a baja velocidad. No se les puede aplicar carga radial.
Esféricos.- Pueden absorber altas cargas de empuje y cargas radiales moderadas a bajas velocidades.

3.5.9.3 Rodamientos

Se utilizan para contrarrestar la fuerza axial que ejerce el eje. Estos cojinetes operan en base al principio de "cuña de aceite", en el que el liquido es succionado hacia arriba por la barra axial en rotación, y forma una cuña entre el cojinete y el collarín del eje. Evitan daños al equipo y mantienen en su posición la parte rotatoria.

3.5.9.4 Lubricación a rodamientos y cojinetes

Los rodamientos que operan en condiciones de velocidad y de temperaturas moderadas, generalmente, se lubrican con grasa, ya que en fácilmente retenida. También tiende a crear un sello para mantener fuera a la suciedad y materias extrañas. La lubricación por aceite se aplica habitualmente a rodamientos que operan a altas velocidades y temperaturas.

3.5.10 Pruebas

Con relación a los equipos que se pueden emplear para las pruebas van desde los más sencillos, como son las lámparas de prueba, hasta algunos instrumentos digitales, que en algunos casos pueden ser más o menos sofisticados.

Un aspecto básico en la determinación de las condiciones de un motor es definir si el motor presenta síntomas de falla, o bien a través de las pruebas de rutina de mantenimiento se observan fallas o tendencias a la falla.

Algunas de las condiciones anormales pueden resultar bastante fáciles de identificar sin necesidad de pruebas complicadas. De hecho, algunos de los problemas mecánicos se pueden detectar por simple observación.

Para los fines del análisis de fallas, el sistema de un motor eléctrico se puede considerar que consta de cuatro componentes principales que son:

1. La fuente de alimentación
2. El controlador
3. El motor
4. La carga

Cuando ocurre un problema en un motor, es necesario determinar primero cuál de estas componentes está en falla.

El suministro de potencia y los controladores pueden fallar en la misma proporción, y en ocasiones con mayor frecuencia que el motor mismo. Las cargas mecánicas aumentan debido a un incremento en el tamaño de la carga que el motor está accionando, pero también por alguna falla en los baleros o rodamientos, o bien en el medio de acoplamiento con la carga.

3.5.11 Tipo de cargas

Una carga es la fuerza que actúa sobre el eje del rotor, básicamente existen tres tipos de carga:

a) Carga Radial
b) Carga Axial
c) Carga Mixta

A las cargas que actúan perpendiculares al eje del motor se denominan radiales, y las fuerzas de empuje que actúan paralelas al eje del motor son las cargas axiales o de empuje; las cargas mixtas son la combinación de ambas, como lo muestra la figura 3.1.

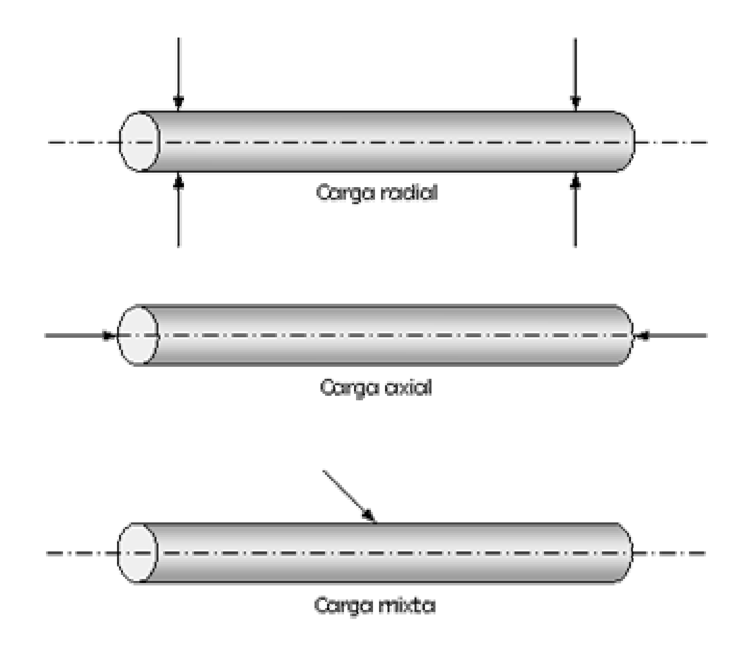


Figura 3.1 Cargas que actúan en el eje

3.6 Equipos de prueba para mantenimiento preventivo

Los aparatos e instrumentos utilizados en la detección de fallas y reparación de motores eléctricos son muy variados, como: el multímetro, el megaóhmetro, el termómetro, comparador de carátula y nivel de burbuja, y otros aparatos que están expresamente diseñados para estas operaciones, como son: la lámpara de prueba, las brújulas, el zumbador o Growler y el tacómetro.

Las pruebas de detección de fallas en motores eléctricos se pueden hacer en campo o en un taller, pero las reparaciones eléctricas se hacen normalmente en los talleres eléctricos, por lo que en éstos aparatos deben existir como mínimo.

3.6.1 Multímetro

Las mediciones eléctricas se requieren cuando se instala, opera o repara equipo eléctrico. El multímetro es el medidor más comúnmente usado. Es capaz de medir dos o más cantidades eléctricas. Su construcción puede ser de dos tipos: Analógicos [figura 3.2] y Digitales. A los multímetros, en algunos lugares, se les conoce también como polímetros, y el tipo más común es el volt-ohm-miliampermetro (VOM).

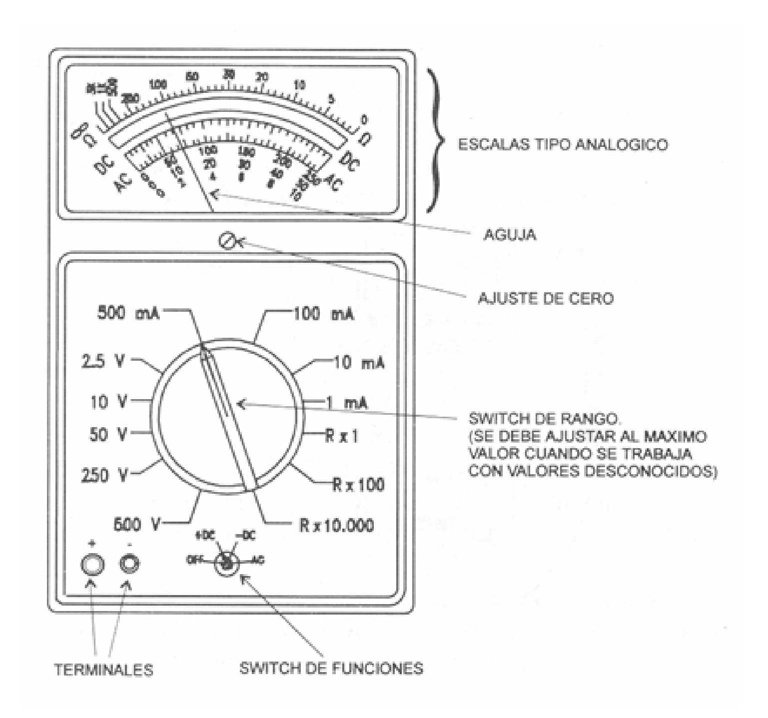


Figura 3.2 **Multímetro analógico**
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pag. 46

Un VOM es un instrumento que mide voltaje, resistencia y corriente. Tiene un switch selector que se ajusta en C.A. cuando se miden voltajes alternos y se posesiona el selector en C.D. (C.C.) cuando se miden voltajes en corriente directa.

Los multímetros, generalmente, son instrumentos ligeros de tipo portátil que se pueden usar para medir en C.A. o en C.D. Puede medir voltaje (E), corriente (A) y resistencia (Ω). Los switches de función y rango se deben seleccionar con la cantidad correcta, y debe ser usada la escala correcta cuando se hagan las mediciones.

La mayoría de los multímetros miden voltaje, corriente y resistencia y tienen escalas separadas para su lectura. Las escalas están usualmente eslabonadas o ligadas en ambos extremos. Una vez que se determina la escala correcta, se debe precisar el número de unidades representadas por las divisiones. Por ejemplo, hay 10 divisiones entre 0 y 10 en la escala de Ω. El valor de cada división se encuentra dividiendo 10 entre 10, lo que es igual a 1Ω por división. Este valor se multiplica por el switch de rango para ajustar el valor correcto.

Para utilizar el multímetro se aplica el siguiente procedimiento:

1. Se determina la función requerida (voltaje, corriente, resistencia)
2. Se colocar el rango y/o el switch de función a la cantidad eléctrica y función requerida.
3. Se ajusta la medición para el máximo valor esperado (se selecciona el rango más alto para lecturas desconocidas).

4. Se conectar el medidor al circuito, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (asegurarse que la polaridad sea la correcta cuando se mida voltaje o corriente en C.A.).
5. Leer el valor en el medidor.
6. Desconectar el medidor del circuito.

3.6.2 Megaóhmetro

También conocido como megger, es un dispositivo que se emplea para medir resistencias de muy alto valor, por ejemplo: las que hay en el aislamiento de cables entre los devanados de los motores o transformadores. Estas resistencias, generalmente, varían de varios cientos a miles de megaohms.

Normalmente el megaóhmetro consiste en una manivela, un generador en una caja de engranes y un medidor. Al girar la manivela los engranes hacen girar al generador a alta velocidad para que genere una tensión de 100, 500, 1000, 2500 Y 5000 Volts, (varia según el modelo).

3.6.3 Termómetro

Existen diferentes formas y efectos para medir la temperatura, los principales son: los efectos mecánicos y eléctricos. Los efectos mecánicos dependen del cambio físico (dimensión mecánica), ocasionado por un cambio de temperatura de algún material.



Figura 3.3 **Termómetro de mercurio**
Cortesía de Lester V. Bergman/Corbis

Los materiales encapsulados en vidrio son los que se han usado con mayor frecuencia para la fabricación de termómetros [ver figura 3.3], en éstos el bulbo sensor contiene la mayor cantidad del líquido que cambiará de volumen, según haya incremento o decremento de la temperatura. También existen termómetros electrónicos, que su operación se basa en la resistencia eléctrica de un conductor o un semiconductor que varía con la temperatura.

Los dos líquidos que se utilizan con mayor frecuencia son el alcohol y el mercurio. El alcohol tiene un coeficiente de expansión más alto que el mercurio, aunque su uso estará limitado sólo en bajas temperaturas, ya que herviría a

altas temperaturas, por lo que da rangos de operación desde -30 hasta 150°C, mientras que el rango del mercurio es de -30 hasta 360°C.

3.6.4 Comparadores de carátula

Los comparadores o indicadores de carátula son instrumentos ampliamente utilizados para realizar mediciones; en ellos un pequeño desplazamiento del husillo es amplificado mediante un tren de engranes para mover en forma angular una aguja indicadora sobre la carátula del dispositivo (véase Figura 3.4); la aguja girará desde una hasta varias docenas de vueltas, lo que depende del tipo de indicador.

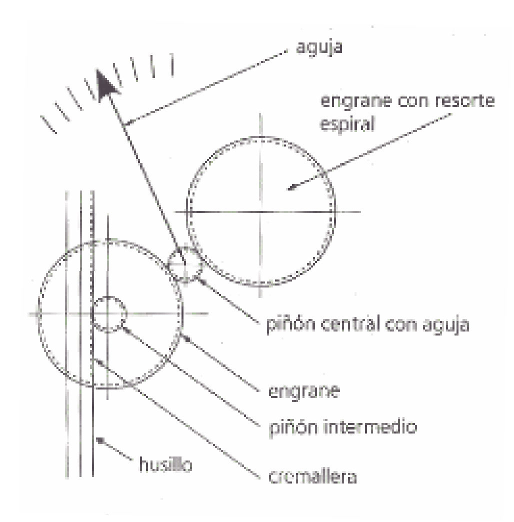


Figura 3.4 **Mecanismo de amplificación**
Metrología/McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., 1995. Pag. 219

3.6.5 Nivel de burbuja

Los niveles de burbuja son los instrumentos más comúnmente utilizados para inspeccionar la posición horizontal de superficies y evaluar la dirección y magnitud de desviaciones en la instalación de motores.

La sensitividad depende de la curvatura del tubo de vidrio. Los niveles económicos tienen un tubo flexionado. Los de mejor sensitividad tienen tubos rectos cuyo interior ha sido esmerilado al radio deseado. La sensitividad de un nivel significa la inclinación necesaria para desplazar la burbuja dentro del tubo una marca de la escala. Esta inclinación puede expresarse mediante altura relativa a un metro del lado de la base o mediante ángulo en segundos [ver figura 3.5].

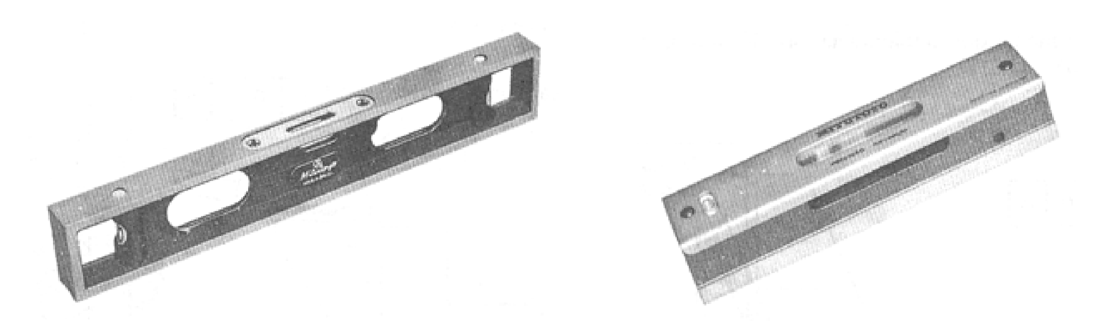


Figura 3.5 **Niveles de Burbuja**
Metrología/McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., 1995. Pag. 380

3.6.6 Lámpara de prueba

Una lámpara de prueba es una lámpara que se conecta a dos conductores o puntas de prueba, y da una indicación cuando el voltaje está presente en el circuito. La lámpara de prueba más común es la lámpara de neón, que es está llena de gas neón y usa dos electrodos para iniciar la descarga del gas [ver figura 3.6]. Cuando hay potencial o voltaje en un circuito la lámpara enciende, si prenden los dos lados se trata de un voltaje de C.A. y si se enciende uno es de C.D.; el lado que enciende es el negativo del circuito por medir. La lámpara enciende brillante cuando se tiene voltaje presente.



Figura 3.6 **Lámpara de prueba de neón**
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pag. 49

3.6.7 Brújula

La brújula se emplea principalmente para la determinación de la polaridad en los devanados. Como se sabe, la brújula es un imán en forma de aguja colocada sobre un pivote o soporte, de manera que pueda girar fácilmente [ver figura 3.7].



Figura 3.7 **Brújula magnética**
Cortesía de Rolf Richardson/Robert Harding

Uno de los polos de este imán se dirige hacia el norte geográfico de la tierra y corresponde al polo norte de la brújula, el otro polo de la brújula se le denomina polo sur, debido a que se orienta al polo sur geográfico. Generalmente, en las brújulas, el lado norte de la aguja magnética se encuentra pintada de negro.

3.6.8 Zumbador o Growler

En los talleres electromecánicos de reparación de motores eléctricos, el Zumbador (Growler) es un dispositivo muy empleado para la detección de cortos circuitos, contactos a tierra, circuitos abiertos o interrupciones, etc.

En los motores eléctricos, el nombre de Zumbador (Growler en inglés) viene del zumbido característico que emite cuando opera. El fundamento de este dispositivo es el mismo que el de un transformador, es decir, la bobina del zumbador es el primario, por lo que se alimenta de la red (contacto o toma de corriente), y en el rotor o inducido montado sobre el zumbador, se induce un voltaje alterno [ver figura 3.8].

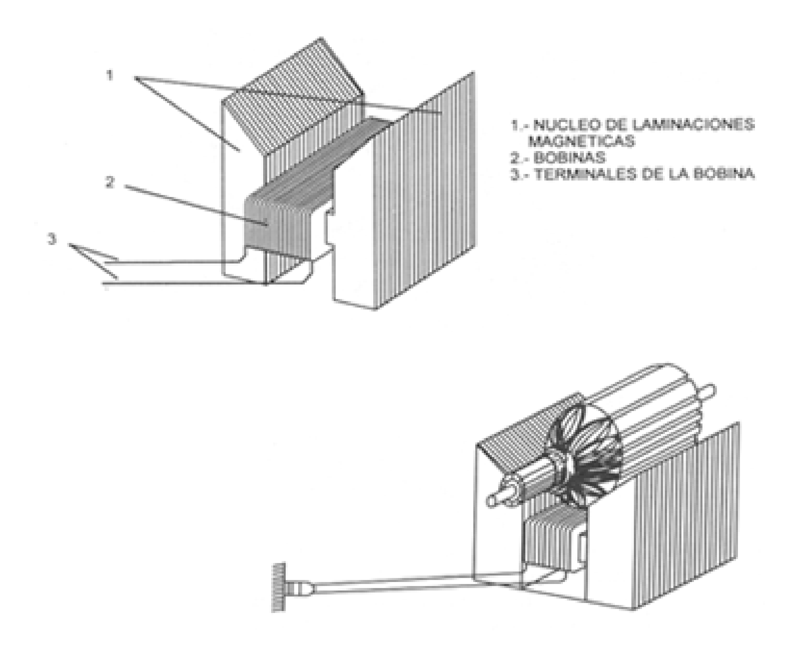


Figura 3.8 Zumbador o Growler
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pag. 64

El Zumbador es esencialmente un electroimán con núcleo de laminaciones magnéticas en forma de H. Las terminales de la bobina del electroimán se conectan a 127 V, a través de una clavija a una toma de corriente. Por medio del Growler o Zumbador se pueden detectar:

- Fallas en el devanado de las máquinas
- Cortocircuito en las delgas del conmutador
- Corto circuito entre bobinas
- Contactos a tierra

3.6.9 Tacómetro

Un tacómetro es un dispositivo que mide la velocidad de un objeto en movimiento. Estos dispositivos se usan para medir la velocidad de los motores eléctricos y detectar ciertas características de operación que pueden ser anormales. Los tacómetros pueden ser básicamente de tres tipos [ver figura 3.9]:

- Tacómetro de contacto
- Foto-tacómetro
- Tacómetro estroboscopio

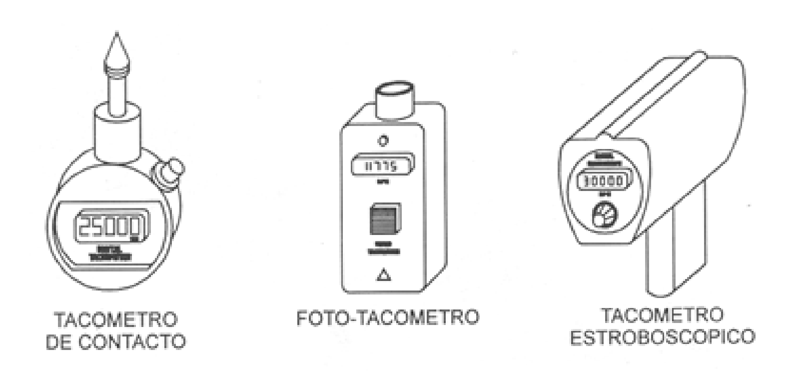


Figura 3.9 **Tacómetros**
Manual de Electricidad Industrial II/Limusa S.A. de C.V., 1996. Pag. 61

CAPITULO 4
MANTENIMIENTO CORRECTIVO

4.1 Introducción al mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es una técnica de la ingeniería, que consiste en realizar una serie de trabajos de restauración, que son necesarios cuando la maquinaria, aparatos o instalaciones se estropean, y es necesario recuperarlos. Su reparación es lo que llamamos mantenimiento correctivo

4.2 Alcances del mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo, comprende la compensación de los daños sufridos por fallas incipientes, a una maquinaría o un equipo, y todos los trabajos que resulten pertinentes para su reparación; su aplicación se da cuando el equipo ha dejado de funcionar y es necesario repáralo.

4.3 Reemplazo de cojinetes

Cuando debe remplazarse un rodamiento, es recomendable seleccionar uno precisamente igual. Si hay que usar uno de otra marca, debe de consultarse el catalogo del fabricante, de modo que se utilice un rodamiento con las mismas especificaciones.

Una vez obtenido el rodamiento de reemplazo, hay que observar las siguientes precauciones para la instalación de rodamientos:

1. Verifique las tolerancias del eje y la carcasa.
2. Asegúrese que las tolerancias están dentro del intervalo recomendado por el proveedor del cojinete.
3. Limpie el área de instalación y las partes en contacto.
4. No retire la envoltura del rodamiento hasta que se le necesite para la instalación.
5. No exponga el rodamiento al polvo o suciedad.
6. No lave un rodamiento nuevo, porque eliminaría la película protectora.
7. En ningún caso se deberá montar el rodamiento ejerciendo fuerza sobre o a través de los elementos rodantes.

NOTA: El arillo exterior, generalmente, se ajusta empujando a mano en la carcasa, en tanto que el anillo interior tiene un ajuste de ligero a pesado sobre el eje (dependiendo de la aplicación).

4.4 Reemplazo de bobinas

Se ha mencionado antes que los motores eléctricos pueden fallar por distintas causas, algunas propias de los motores y otras debidas a los elementos asociados para su operación. Algunas de estas fallas conducen a la presencia de corto circuito, que finalmente se traduce en fallas en los devanados, que se detectan mediante pruebas. Una vez identificado el problema de una falla en los devanados, se procede a tomar las medidas para la reparación de los mismos, es decir, el embobinado o rebobinado.

El embobinado de motores es un concepto aplicable a los motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos, y va desde el desarmado de los propios motores, hasta los cálculos mismos en su caso.

En ciertos casos, sólo se trata de rehacer el mismo devanado que falla, para lo cual se mide el diámetro del conductor (su calibre), después se retiran las bobinas, determinando previamente su distribución en las ranuras y se pesan para calcular la cantidad de alambre necesario. En otros, se hacen los cálculos necesarios para hacer el mismo bobinado, o bien modificar sus características. En cualquier circunstancia, se requiere de un conjunto de conceptos generales que faciliten el trabajo a desarrollar.

Cuando se ha concluido, después de hacer una revisión ocular y algunas pruebas de diagnóstico, y se determina que se requiere rebobinar el motor.

4.4.1 Bobinado a mano

Estos devanados se hacen o forman directamente en las ranuras del estator de un carrete de alambre. Prácticamente se devana polo a polo, y un polo de este tipo de devanado toma la forma que se muestra a continuación en la figura 4.1, en donde se observa que una bobina se devana en las ranuras 2 y 4, y una segunda bobina, en las ranuras 1 y 5, entonces se corta el alambre. Estas bobinas constituyen un grupo, y establecen un polo cuando circula la corriente a través de ellas.

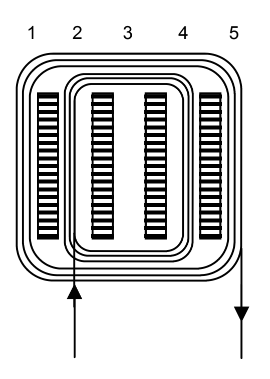


Figura 4.1 Devanado a mano

Los otros grupos se devanan exactamente en la misma forma y después se conectan, como se hace con los de cada fase, en las máquinas trifásicas, en ambos casos, los grupos alternos se conectan invertidos para dar la polaridad correcta, es posible devanar todas las bobinas sin cortar el alambre, devanando los grupos alternos en sentido inverso.

Cuando el estator tiene ranuras semicerradas o requiere de alambre más grueso, se devanan las bobinas por lo general a mano. La mayoría de las veces se requiere hacer las bobinas en molde y colocarlas a mano en su lugar.

4.4.2 Formación de las bobinas

Las bobinas para un estator de ranuras abiertas se devanan por lo general en moldes, se encintan y se colocan en las ranuras. En la mayoría de los casos todas las bobinas de un grupo se devanan sin cortar el alambre (para evitar uniones o conexiones).

Las bobinas prefabricadas se insertan con frecuencia también en estatores con ranuras semicerradas, en este caso las bobinas se deben también encintar hasta las puntas, para evitar que se dañen durante la colocación.

Después que todas las bobinas se encuentran en las ranuras, el aislamiento se extiende hasta el exterior, se corta y las puntas se encintan, entonces se fijan insertando las cuñas.

4.4.3 Devanado tipo madeja

Cuando se trata de reembobinar un motor por este método, como ocurre con frecuencia en las reparaciones, se debe tomar esta información cuidadosamente durante el proceso de retiro de las bobinas usadas del estator (diámetro de la madeja, número de vueltas, paso, etc.)

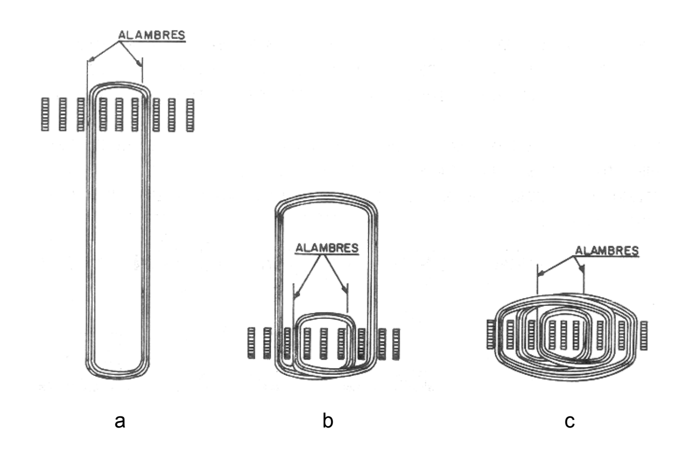


Figura 4.2 **Devanado tipo madeja**
El ABC de la maquinas eléctricas II/Limusa S.A. de C.V., 1994. Pag. 312

El torcido de la madeja se debe hacer primero en una dirección y luego en la otra hasta que el devanado se completa, si este proceso no se sigue, la madeja se puede torcer y lo que dificulta el bobinado. Este tipo de devanado tiene la ventaja de que se coloca en las ranuras en forma más rápida que los otros [ver figura 4.2].

4.5 Desarmado del motor y toma de datos

En ciertas ocasiones para mantenimiento, y en otras para reparación, se requiere desarmar los motores eléctricos, por lo que es conveniente dar algunas

indicaciones para facilitar este trabajo. Se recomienda seguir las siguientes reglas generales:

1. Desconectar la alimentación del motor (desenergizar).
2. Tomar nota (elaborar un diagrama) de las conexiones del motor para evitar errores cuando se vuelva a poner en servicio.
3. Quitar todo el equipo auxiliar que no permita el acceso libre al motor.
4. Analizar si se requiere o no remover el motor del lugar de su instalación.
5. Seguir preferentemente las recomendaciones del fabricante para su montaje y maniobras a realizar.

Conviene seleccionar un área de trabajo limpia cuando el motor se desarma. Estando en su lugar de montaje, se debe tener suficiente cuidado con el manejo de sus partes, y éstas deben ser marcadas y debidamente etiquetadas para su correcto armado posterior.

Algo que es básico al desarmar un motor, es la colocación de marcas entre las tapas y el estator, a fin de conservar la misma posición para el armado posterior. Después de marcar las tapas y la carcasa del motor, se puede proceder al desarmado. Se recomienda seguir las siguientes precauciones:

- No usar martillos metálicos directamente sobre cualquier parte del motor, ya que el impacto puede romper o fracturar al hierro fundido, o bien, puede deformar otras partes.
- No usar desarmadores (desatornilladores) para forzar las tapas al querer separarlas, esto puede producir marcas o daño.
- Estar preparado para registrar el procedimiento de desarmado y arreglar la disposición de las partes en un orden que identifique su armado.
- Tener listo un cuaderno de notas y lápiz para anotar cómo están las conexiones internas de los devanados.

Procedimiento para el desarmado del motor:

1. Si el motor tiene escobillas, quitarlas de sus portaescobillas.
2. Después de los pasos anteriores, se está en posición de retirar las tapas de la carcasa. Tan pronto como se separen las tapas, el rotor o armadura queda soportado por el estator. Se deberán tomar precauciones para evitar que el rotor sufra daño, usando soportes o caballetes. Entre más grande es el motor, se tiene mayor riesgo de daño.
3. Usar un martillo de bola (preferentemente) y un bloque de madera (para proteger contra daño).
4. Remover las tapas de ambos lados del motor, retirando de la flecha lentamente y procurando previamente haber desconectado todos los alambres de circuitos que pueda haber (por ejemplo el switch centrífugo en los motores de arranque con capacitor).
5. En la medida que se continua con el proceso de desarmado, registrar todas las partes que se retiran y el orden en que van. Elaborar un diagrama para el alambrado. Hacer una lista de colores, de acuerdo a los códigos para cada terminal, o bien usar la numeración convencional.

6. Una vez que se han retirado las tapas del eje del motor, se puede retirar el rotor, teniendo cuidado de que no se golpee contra el estator o los devanados del estator para evitar daños; por lo que dependiendo del tamaño del motor (en consecuencia del rotor), se deben adoptar distintas formas de soporte del rotor.

4.6 Motores monofásicos

Son un gran número de motores de capacidades comparativamente pequeñas, se fabrican para operar con alimentación monofásica. La mayoría de ellos se producen en potencias fraccionarias de HP, y se denominan técnicamente motores pequeños. Los motores monofásicos desarrollan una gran variedad de servicios útiles en: aplicaciones del hogar, la oficina, las fábricas y los comercios, así como otros usos diversos.

Todos los motores monofásicos tienen un problema en común que es arrancar. Normalmente, para originar el par de arranque, se requiere de algún medio auxiliar que produzca la reacción con la onda de C.A. de la alimentación para producir el par. De aquí, que en los motores de C.A. monofásicos, se hable de un devanado de trabajo y otro devanado de arranque, o de algún medio auxiliar como el capacitor.

4.6.1 Tipos de bobinas

Un motor monofásico tiene dos grupos de devanados en el estator: el primer grupo, se conoce como el devanado principal o devanado de trabajo; el segundo, se le conoce como devanado auxiliar o de arranque. Estos dos devanados se conectan en paralelo entre sí, el voltaje de línea se aplica a ambos al energizar el motor.

Los dos devanados difieren entre sí física y eléctricamente. El devanado de trabajo está formado de conductor grueso y tiene más espiras que el devanado de arranque, éste, generalmente se aloja en la parte superior de las ranuras del estator, en tanto que el de trabajo se aloja en la parte inferior. El devanado de arranque tiene menos espiras de una sección delgada o pequeña de conductor.

4.6.2 Distribución de bobinas

Para localizar la distribución de bobinas, primero hay que encontrar el paso polar que es la división exacta que ocupan los polos magnéticos de los motores y esa división puede caer sobre ranuras o sobre los dientes, la formula es:

$$P.P. = \frac{\#R}{\#P} + 1$$

Donde: P.P. = Paso polar
#R = Número de ranuras
#P = Número de polos

El paso de bobina es el número de ranuras que ocupa una bobina en el estator, y se dice, por ejemplo: 1 a 6, quiere decir que va desde la ranura 1 a la

6. En los motores monofásicos con bobinado concéntrico para encontrar el paso de la bobina, se divide el número de ranuras entre el numero de polos, lo que resulta es el paso de la bobina grande, o el paso mayor, los otros pasos solo se ajustan, en este caso siempre queda un diente entre polo y polo. En algunos casos se usa el paso polar, entonces, el final o lado de un polo, y el principio del siguiente polo ocupan la misma ranura.

4.6.3 Cálculo de un motor monofásico

4.6.3.1 Numero de vueltas

El numero de vueltas de un motor monofásico, esta dado por la fórmula:

$$N = \frac{E10^8}{4.44(f)S(\beta)K_2}$$

Donde:

N	=	Numero de vueltas
E	=	Voltaje, que multiplicado por 10^8, simplemente se le agregan 8 ceros al voltaje aplicado. Ejemplo 120 volts = 12 000 000 000
4.44	=	Constante
f	=	Frecuencia de la línea donde será instalado el motor
S	=	Sección del hierro de un solo polo
ß	=	Beta, líneas magnéticas por centímetro cuadrado
K_2	=	Factor de distribución

Para encontrar la sección se utiliza la siguiente formula:

$$S = \left[\frac{Nd}{P} - 1\right] d(L)$$

Donde:

S	=	Polos
Nd	=	Número de dientes
d	=	Ancho del diente
L	=	Largo del diente

4.4.6.2 Ancho del diente

El ancho del diente se mide en la parte central, debe medirse hasta decimos de milímetros, tomando en cuenta que todas las medidas del hierro son en centímetros, debe escribirse así, por ejemplo: si son 3 milímetros, escríbase 0.3 cm. y si son 3 mm y 5 decimos de mm, escríbase 0.35 cm. Existen tres formas de dientes, que son: recto, curvo y cónico, como lo muestra la figura 4.3.

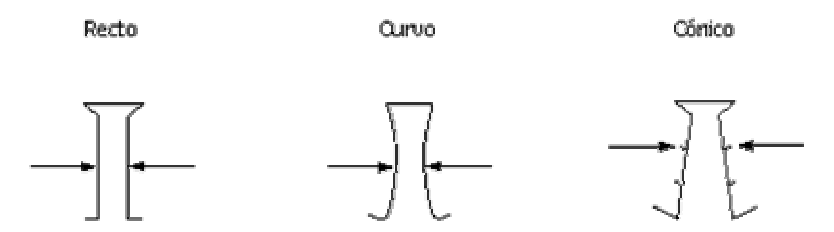


Figura 4.3 **Forma de medir los dientes**

Estas medidas se hacen con el vernier o pie de rey para mayor exactitud. El largo del diente es mejor tomarlo en el fondo de la ranura (todo el paquete de lámina debe tener la misma medida, de modo que se toma donde están mas cerradas). Esta medida no es exacta y hasta se pueden quitar 2 mm o 3 mm (nunca aumentar) para quedar en centímetros enteros o medios.

La Beta (ß) para todos los monofásicos es de 15000 Gauss.

El K_2 o factor de distribución, se refiere al número de bobinas que forman un solo polo en sus diferentes pasos. Ejemplo: Un solo polo está formado con pasos de K_2 se sabe por la tabla siguiente:

No. de bobinas que forman el polo	Factor K_2
2	0.707
3	0.666
4	0.654
5	0.648
6	0.644
8	0.640

4.6.3.3 Corona del estator

La corona del estator es el hierro en forma de anillo que queda atrás de las ranuras, y se mide del fondo de la ranura a la circunferencia exterior del laminado. Como la corona pudiera estar saturada magnéticamente debe buscarse la beta corona con la fórmula siguiente:

$$\beta c = \frac{E10^8}{4.44(f)Sc(N)}$$

Donde:

	ßc	=	Beta corona
	Sc	=	Sección corona
	E	=	Voltaje multiplicado por 10^8
	4.44	=	Constante
	f	=	Frecuencia de la línea
	N	=	Numero de vueltas

La sección corona se obtiene con la formula:

$$Sc = C(L)2$$

Donde: Sc = Sección corona
C = Corona (en centímetros)
L = Largo del diente
2 = Constante

El resultado no debe pasar de 13 000 a 14 000 Gauss máximo. También se puede obtener el número de vueltas por corona, con la formula:

$$N = \frac{E10^8}{4.44(f)Sc(13000)}$$

Donde: N = Numero de vueltas
E = Voltaje multiplicado por 10^8
4.44 = Constante
f = Frecuencia de la línea
Sc = Sección corona
13000 = Constante

Pero pueden quedan saturados los dientes, de manera que es recomendable obtener el calculo de ambas maneras, y el resultado será el mayor numero de vueltas.

4.7 Motores trifásicos

En los motores trifásicos de inducción normalmente no hay conexión eléctrica al rotor, pero en principio de operación, las corrientes se inducen en el circuito del rotor y se produce entonces la reacción entre los campos de la armadura y el rotor, al conducir corriente los conductores del rotor dentro del campo magnético, produciéndose una fuerza en los conductores que tiende a moverlos en ángulo recto con respecto al campo.

Cuando el estator o devanado primario de un motor trifásico de inducción se conecta a una alimentación de C.A. trifásica, se establece un campo magnético rotatorio que gira a la velocidad de sincronismo. La dirección de las revoluciones de este campo dependerá de la secuencia de fases de las corrientes del primario y, por lo tanto, del orden o secuencia en cómo se conecten las terminales del primario a la alimentación.

La dirección de rotación del campo se puede invertir, intercambiando la conexión a la alimentación en dos de los tres conductores del motor trifásico.

4.7.1 Diagramas de conexión

Todos los motores trifásicos están construidos internamente con un cierto número de bobinas eléctricas que están devanadas siempre juntas, para que conectadas constituyan las fases que se conectan entre sí, en cualquiera de las formas de conexión trifásicas, que pueden ser:

- Delta
- Estrella
- Estrella-delta

4.7.1.1 Delta

Los devanados conectados en delta son cerrados y forman una configuración en triangulo. Se pueden diseñar con seis (6) o nueve (9) terminales para ser conectados a la líneo de alimentación trifásica.

Cada devanado de un motor de inducción trifásico tiene sus terminales marcadas con un número para su fácil conexión. En la figura 4.4, se muestra un motor de 6 terminales con los devanados internos identificados para conectar el motor para operación en delta. Las terminales o puntas de los devanados se conectan de modo que A y B cierren un extremo de la delta (triángulo), también B y C, así como C y A, para de esta manera formar la delta de los devanados del motor.

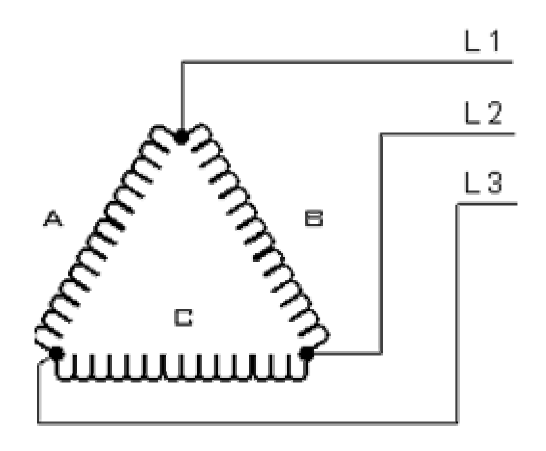


Figura 4.4 **Conexión delta**

Los motores de inducción de jaula de ardilla son también devanados con nueve (9) terminales para conectar los devanados internos para operación en delta. Se conectan seis (6) devanados internos para formar una delta cerrada, tres devanados están marcados como 1-4-9, 2-5-7 y 3-6-8, en éstos [figura 4.5]. Los devanados se pueden bobinar para operar a uno o dos voltajes.

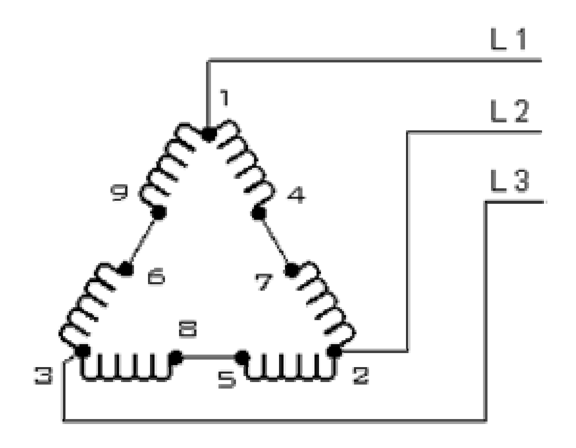


Figura 4.5 Conexión delta

4.7.1.2 Estrella

Los devanados de la mayoría de los motores de inducción de jaula de ardilla están conectados en estrella. La conexión estrella se forma uniendo una terminal de cada devanado, las tres terminales restantes se conectan a las líneas de alimentación L1, L2 Y L3 [ver figura 4.6]. Los devanados conectados en estrella forman una configuración en Y.

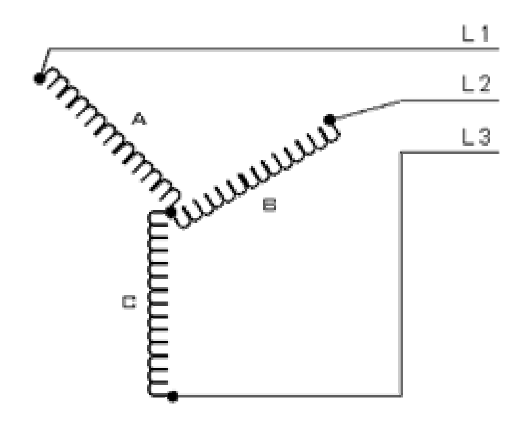


Figura 4.6 Conexión estrella

Un motor conectado en estrella con nueve (9) terminales, tiene tres puntas en sus devanados conectadas para formar una estrella (7-8-9). Los tres pares de puntas de los devanados restantes, son los números: 1-4, 2-5 y 3-6 [figura 4.7]. Los devanados se pueden conectar para operar en bajo o alto voltaje.

Para la operación en bajo voltaje, éstos se conectan en paralelo; para la operación en alto voltaje, se conectan en serie.

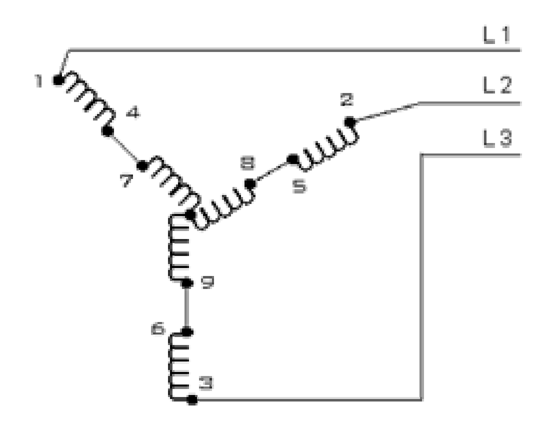


Figura 4.7 Conexión estrella

4.7.1.4 Conexiones para dos voltajes

Algunos motores trifásicos están construidos para operar en dos voltajes. El propósito de hacer posible que operen con dos voltajes distintos de alimentación, y tener la disponibilidad en las líneas para que puedan conectarse indistintamente. Comúnmente, las terminales externas al motor permiten una conexión serie para el voltaje más alto y una conexión doble paralelo para la alimentación al menor voltaje.

4.8 Tipos de embobinados trifásicos

4.8.1 Imbricada

La construcción de tipo más sencillo, es el embobinado simple en serie o imbricado. Un embobinado simple de imbricado es un embobinado que consta de bobinas que contienen una o más espiras de alambre, y en los que los dos extremos de cada bobina aparecen en segmentos colectores adyacentes.

Si el extremo de la bobina está conectado al segmento siguiente en que está conectado el comienzo de la bobina, el embobinado es de lazo progresivo; si el extremo de la bobina está conectado al segmento anterior en que está conectado el principio de la bobina, el embobinado es imbricado regresivo, como se muestra en la figura 4.8.

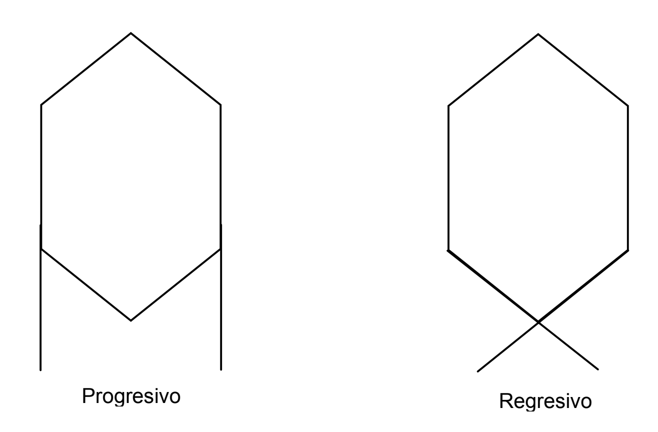


Figura 4.8 Tipos de embobinado imbricado

4.8.1.1 A una capa

Su principal característica es que cada ranura es llenada por una sola bobina. Un embobinado sencillo es un embobinado de una sola bobina, completo de devanado cerrado en el rotor.

Un rotor con dos juegos completos e independientes de embobinados se denomina rotor de embobinado doble. Si un rotor tiene un embobinado doble, entonces cada uno de los embobinados estará asociado con cada uno de los segmentos colectores: un embobinado estará conectado a los segmentos 1, 3, 5, etc. y el otro embobinado estará conectado a los segmentos 2, 4, 6, etc. En forma análoga, un embobinado triple tendrá tres juegos completos e independientes de embobinados, cada uno de los cuales se conecta con cada tercer segmento colector del inducido. Colectivamente, todos los inducidos con más de un juego de embobinados se dice que son embobinados múltiples [ver ejemplo de la figura 4.9].

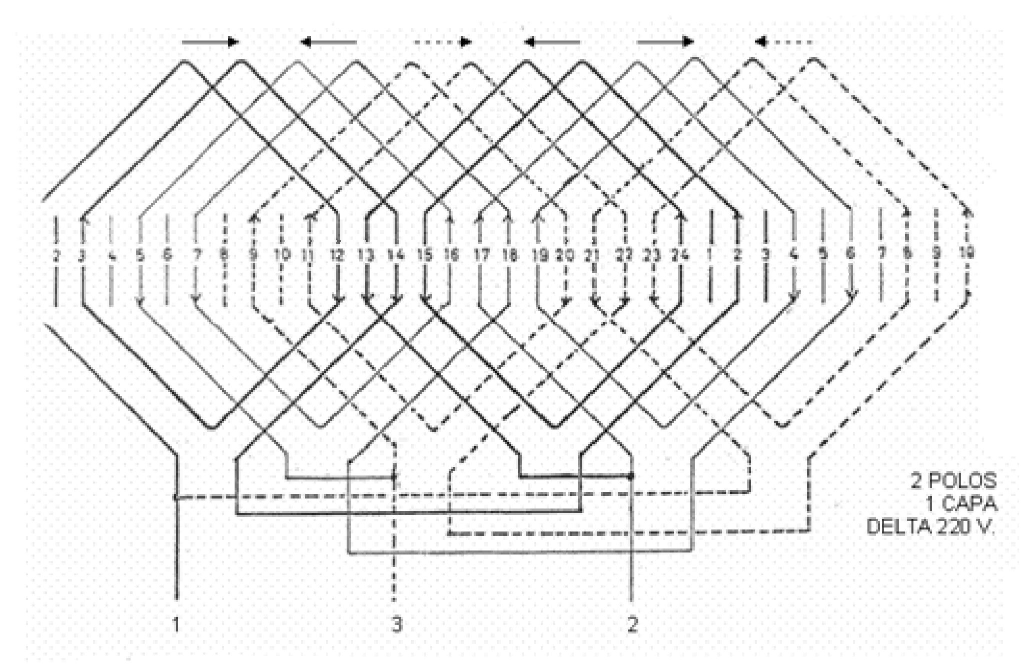


Figura 4.9 **Embobinado a una capa**
Tecnología aplicada en la capacitación de bobinado de motores eléctricos/Jorge G. Ludewig Fons. Pag. 34

4.8.1.2 A dos capas

Significa que los lados de dos bobinas diferentes se insertan en una misma ranura. Uno de los lados de cada bobina se colocará en el fondo de su ranura y el otro estará en la parte superior de ella.

Tal sistema de construcción requiere que las bobinas se coloquen en sus ranuras individualmente, por medio de un procedimiento bastante dispendioso. Uno de los lados de cada bobina se coloca en el fondo de su ranura y luego, cuando todos los fondos estén en su sitio, el otro lado se coloca en la parte superior de su ranura.

De esta manera, todos los embobinados se entretejen, mejorando su fortaleza mecánica y la uniformidad de la estructura final.

4.9 Protocolo de pruebas

4.9.1 Polarización de campos magnéticos

Debido a que el funcionamiento de un motor eléctrico se basa en las fuerzas de atracción y repulsión, es necesario que los polos magnéticos estén alternados.

La brújula se emplea principalmente para la determinación de la polaridad en los devanados. Como se sabe, la brújula es un imán en forma de aguja colocada sobre un pivote o soporte, de manera que pueda girar fácilmente.

4.9.2 Velocidad

Par encontrar la velocidad, utilizamos el tacómetro, en los motores de inducción monofásicos o trifásicos, depende del número de polos y la frecuencia de la Corriente Alterna. A mayor frecuencia de la corriente alterna, será mayor la velocidad; y mayor numero de polos, menor será la velocidad. La relación que existe lo da la formula:

$$R.P.M. = \frac{120F}{\#Polos} = \frac{60F}{\#ParesPolares}$$

Donde: R.P.M. = Revoluciones por minuto o velocidad angular
F = Frecuencia

Esta formula nos da la velocidad sincrona, es decir, la velocidad de acuerdo al ciclaje, pero hay un resbalamiento debido a la carga que se pierde, más o menos 3%.

4.9.3 Corriente

Para determinar la corriente que esta demandando un motor monofásico de C.A., utilizamos el multímetro, para medir corrientes en corriente alterna, y debe de ser similar a la que se obtienen con la expresión:

$$I = \frac{HP(746)}{\#F(V)\eta(F.P.)}$$

Donde:
I = Corriente
HP = Caballos de fuerza
746 = Constante
#F = Número de fases
V = Voltaje
η = Eficiencia
F.P. = Factor de potencia

NOTA: Para el numero de fase, se utilizará 1 para sistemas monofásicos, 2 para sistemas bifásicos, y para sistemas trifásicos se utilizara $\sqrt{3}$ = 1.732.

4.9.4 Falla a tierra

Se dice que un circuito está a tierra cuando la corriente se sale de su trayectoria normal y se va hacia la carcasa del motor. Esta falla es causada cuando el aislamiento se rompe o falla, o bien, es dañado y hace contacto con la carcasa del motor. Un método elemental para probar un motor contra fallas a tierra, contra circuitos abiertos o contra corto circuito, es mediante el uso de una lámpara de prueba.

4.9.5 Aislamiento

Una parte decisiva del diseño de una máquina de C.A. es el aislamiento de sus embobinados. Si se retira el aislamiento de un motor o generador, la máquina se avería. Aunque fuera posible reparar una máquina cuyo aislamiento está averiado, ello resultaría muy costoso. Para evitar este tipo de daño, por recalentamiento, es necesario limitar la temperatura de los embobinados. Esto puede hacerse, en parte, al suministrarles una circulación de aire frío, pero finalmente la temperatura máxima del embobinado limita la potencia máxima que la máquina puede suministrar continuamente.

En raras ocasiones el aislamiento falla por ruptura inmediata a determinada temperatura crítica. En cambio, el aumento de temperatura produce una paulatina degradación del aislamiento, exponiéndolo a que se produzca una falla por otras causas, como choque, vibración o tensión eléctrica. Una antigua regla decía que la expectativa de vida de un motor con determinado tipo de aislamiento se reduce a la mitad por cada 10% del aumento que se presenta por encima de la temperatura asignada al embobinado. En cierta medida esta regla se usa todavía.

4.9.6 Potencia

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, por lo que es necesario definir en la aplicación de un motor la potencia que se le va a demandar. Para determinar la potencia de los motores eléctricos utilizamos la fórmula:

$$P = \left[(\#F)E(I)F.P.(\eta)F.S. \right]$$

Donde: P = Potencia
#F = Número de fases
E = Tensión
I = Corriente
F.P. = Factor de potencia

4.9.7 Temperatura

Las pérdidas eléctricas y mecánicas en motores eléctricos ocurren con la subsiguiente transformación de pérdidas, en energía térmica, originado el calentamiento de diversas partes de la máquina.

Para asegurar la operación adecuada, el calentamiento de cada una de sus partes necesita garantizar un comportamiento adecuado del sistema aislante de los arrollamientos. Además, la máxima potencia disponible en un motor, se limita por la temperatura máxima permitida para los materiales aislantes empleados.

CAPITULO 5
MATERIALES HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

5.1 Tipos de herramienta

A continuación, se da un listado de las herramientas y equipo necesario para el taller de embobinado de motores:

Arco con segueta
Asentadores de fibra
Botador de cuñas
Botadores juego de 5 piezas
Brochas
Cautín eléctrico 125 W. y 250 W.
Cepillo de carpintero
Cinceles
Compás de exteriores
Compás de interiores
Compás de trazos
Cuchilla
Desarmador de cruz
Desarmador plano
Escuadras
Extractor de poleas chico
Extractor de poleas grande
Juego de brocas
Lima cuadrada
Lima de media caña
Lima plana
Lima redonda
Lima triangular
Llave “perico”
Llaves Allen (juego)
Llaves astrias (juego)
Llaves españolas (juego)
Llaves Stillson
Martillo de bola
Martillo de goma, chico y grande
Pinzas de corte
Pinzas de electricista
Pinzas de mecánico
Pinzas de presión
Pinzas de punta
Punto de golpe
Saca-bocado juego de 5 piezas
Serrucho de carpintero

5.2 Instrumentos de medición

Calibrador de alambre
Flexométro

Multímetro (A, V, Ω)
Multímetro de Gancho
Pie de rey (vernier)
Puentes de medición eléctrica
Tacómetro (revoluciones por minuto)

5.3 Equipo

“Grauler”: exterior e interior
Bobinadora
Brújula magnética
Dobladora de papel aislante
Esmeril
Estufa
Prensa (tornillo de banco)
Soportes para estatores
Taladro de columna 3/4
Taladro de mano 1/4

5.4 Materiales

Primordialmente, el devanado consta de dos elementos: conductores y aislantes. El conductor vendrá hacer de un tipo de alambre especial, conocido como alambre magneto, y vendrá recubierto de una capa de material aislante.

Los materiales empleados como conductores, deben ser de alta conductividad, ya que con ellos se fabrican las bobinas, los requisitos fundamentales que deben de cumplir los materiales conductores son los siguientes:

a) La más alta conductividad posible
b) El menor coeficiente posible de temperatura por resistencia eléctrica
c) Una adecuada resistencia mecánica
d) Deben ser dúctiles y maleables
e) Tener una adecuada resistencia a la corrosión

5.4.1 Cobre

El cobre es probablemente el material mas ampliamente usado como conductor, ya que combina dos propiedades importantes que son: alta conductividad con excelentes condiciones mecánicas y además tiene una relativa inmunidad a la oxidación y corrosión bajo ciertas condiciones de operación, es altamente maleable y dúctil. Ver tabla de características de los conductores de cobre y aluminio

5.4.2 Aluminio

El aluminio esta ganando cada vez mas terreno en el campo de la aplicación para un gran número de aplicaciones a la ingeniería, otra razón es la gran demanda de conductores que no se puede satisfacer solo con conductores de cobre y asociado a esto se tiene el problema de los costos.

El aluminio puro es más blando que el cobre y se puede fabricar en hojas o rollos laminados delgados, debido a sus características mecánicas el aluminio no se puede fabricar siempre en forma de alambre. En la actualidad el aluminio se usa con frecuencia en la fabricación de bobinas para transformadores. Véase tabla de características de los conductores de cobre y aluminio

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES DE COBRE Y ALUMINIO

Características	Cobre	Aluminio
Densidad (gramos/cm^3)	8.94	2.7
Punto de fusión (°C)	1 083	657
Conductividad termica (watt/m^3 °C)	350	200
Resistividad (Ohm-m/mm^2)	0.01724	0.0287
Coeficiente de resistencia por temperatura a 20°C en Ohm/Ohm/°C	0.00393	0.035

5.5 Aislantes

Para los motores es primordial e insustituible el uso de aislantes, puesto que por sus propiedades se sabe que no son conductores de la electricidad, por lo que es de suma importancia su aplicación, ya que en algunas partes es necesario que solo tenga contacto magnético y no eléctrico, entre los mismos devanados, es decir, cada espira debe estar aislada eléctricamente de las otras.

Los aislantes según sus propiedades y las temperaturas máximas que resisten se clasifican de la siguiente manera:

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES AISLANTES

Clase	Características
Clase A	- Comprende materiales fibrosos, a base de celulosa o seda saturados con líquidos aislantes y otros materiales semejantes. La temperatura característica es de 105°C.
Clase B	- Comprende materiales a base de poliéster y poliimídicos aglutinados con materiales orgánicos o saturados con éstos. La temperatura característica de esta clase es de 130°C.
Clase C	- Incluye mica, vidrio, cerámica y cuarzo sin aglutinante. Temperatura característica superior a 180°C.
Clase E	- Comprende algunas fibras orgánicas sintéticas y otros materiales; su temperatura característica es de 120°C.
Clase F	- Comprende materiales a base de mica, amianto y fibra de vidrio aglutinados con materiales sintéticos, por lo general con siliconas, poliésteres o epóxidos. Temperatura característica de 155°C.
Clase H	- Comprende materiales a base de mica, asbestos o fibra de vidrio aglutinados con siliconas de alta estabilidad térmica, presentando una temperatura característica de 180°C.
Clase Y	- Comprende materiales fibrosos a base de celulosa o seda, no saturados, no inmersos en líquidos aislantes, y materiales semejantes. La temperatura característica es de 90°C.

Actualmente, los materiales de las clases B y F son de los sistemas más usuales en los motores eléctricos; por razones económicas, se restringe la utilización de materiales clase H. Los materiales de las clases Y, A y E no son de uso común. Los sistemas de clase C, se utilizan individualmente en los sistemas aislantes de los motores y no son comunes.

5.5.1 Tipos Y Propiedades

Las bobinas que tienen más de una vuelta deben estar bien aisladas unas de otras, al igual que el con el estator. Las formas más comunes de aislamiento empleadas son:

- Papeles
- Telas
- Fibras especiales
- Barnices

5.5.1.1 Papeles

Dentro de este tipo de aislamientos los que comúnmente se encuentran por su nombre comercial son el "papel pescado" y el "papel coreco" que soportan temperaturas del orden de 60°C y con un recubrimiento de barniz hasta 90°C, existe otro papel conocido comercialmente como isoplex que soporta temperaturas hasta de 180°C.

5.5.1.2 Telas

De los aislamientos conocidos como telas y que se usan mas frecuentemente en los motores eléctricos se tiene la llamada "tela cambrige" - que se emplea para separa grupos de bobinas o bien combinada con alguno de los tipos de papeles para aislar las ranuras del estator, este papel es de color amarillo o negro y se vende, por rollo o por metros, la cinta se puede obtener también en forma de cinta con anchos de 1/2 pulga a 1 pulgada.

5.5.1.3 Fibras especiales

Se ha dado por denominar así a materiales derivados de productos petroquímicos, con distintos nombres comerciales, como por ejemplo "el maylard" y que tienen como una de sus características importantes el soportar altas temperaturas.

Como fibras especiales se consideran también la llamada "fibra roja" empleada en el acabado de las bobinas o bien en la elaboración de cuñas que se usan para cerrar las ranuras de los devanados, así mismo, se emplea otra pasta conocida comercialmente como "celorán", se expende en el mercado como láminas (sólidas) con espesores que van de 1/16 de pulgada a 1 pulgada. La forma clásica de cerrar las ranuras de los devanados es también por medio de "cuñas de madera".

5.5.1.4 Barnices

Todos los devanados, deben impregnarse con un barniz aislante de buena calidad antes de ponerlos en servicio. Este barniz tiene varios fines importantes; cuando se aplica correctamente, penetra hasta las capas interiores

de las bobinas y actúa como un aislamiento adicional de los conductores, aumentando así la rigidez dieléctrica del aislamiento entre ellos. Esta penetración del barniz en el interior de las bobinas, y en el encintado exterior, reduce considerablemente la probabilidad de que se produzcan cortos circuitos entre los conductores y masas con las ranuras o la armazón de la máquina.

Cuando un devanado se ha saturado muy bien de barniz aislante, y éste se ha endurecido en forma apropiada, aumenta mucho la resistencia mecánica de las bobinas, y mantiene rígidamente los conductores en su sitio, lo que impide vibraciones que podrían contribuir a desgastar y estropear el aislamiento; sobre todo en el caso de los devanados de corriente alterna en los cuales el flujo alterno tiende a hacer vibrar los conductores cuando está funcionando la máquina.

Así mismo, impide que penetre la humedad en las bobinas y reduzca la calidad del aislamiento, e impide que se acumule entre las bobinas el polvo, la suciedad y el aceite, lo que prolonga a vida del motor.

5.5.1.4.1 Tipos

Existen diferentes clases de barnices aislantes: negros, claros, negros de secado al aire, negros de secado al horno, pero general mente se pueden clasificar en dos tipos:

1. Barnices de secado en estufa
2. Barnices de secado al aire.

Los del primer grupo, tienen que secarse en una estufa para que se endurezcan, y los de secado al aire, contienen ciertos líquidos o disolventes que hacen que se sequen y endurezcan con gran rapidez cuando quedan expuestos a la acción del aire.

Un buen barniz aislante del tipo de secado al aire se endurecerá de 20 o 30 minutos, pero debe dejársele durante 24 horas aproximadamente, antes de poner los devanados en servicio. Los barnices de secado al aire, no se consideran de buena calidad como los barnices de sedo en la estufa, por consiguiente, deben emplearse estos últimos siempre que se disponga de una estufa o de otro medio para aplicar calor en el secado.

5.5.1.4.2 Aplicación

Existen tres métodos para aplicar barniz a las bobinas y los devanados, que son:

1. Por inmersión
2. Con brocha
3. Por pulverización

El método de inmersión es el más empleado, y se aplica para los pequeños devanados de estatores e inducidos. Para sumergir en barniz esas bobinas o esos devanados se necesitará un tanque o un recipiente del tamaño y la profundidad adecuados. Antes de sumergir los devanados deben secarse muy bien en una

estufa a la temperatura aproximada de 100°C para expulsar toda la humedad y calentar las bobinas, de modo que, cuando se sumerjan en el barniz, éste penetre rápidamente en sus capas más recónditas.

Las bobinas deben permanecer sumergidas en el barniz hasta que se vea que no se desprenden ya burbujas de aire. Cuando parece que han absorbido ya todo el barniz posible, deben sacarse del tanque con la lentitud necesaria para que escurra naturalmente el barniz de ellas. Esto les dará un revestimiento uniforme con la menor acumulación posible de barniz en los extremos o cabezas inferiores. Después deben dejarse escurriendo hasta que cese de gotear barniz, y este se haya endurecido parcialmente; el tiempo necesario para que ocurra esto dependerá del tamaño del devanado o las bobinas.

Cuando hay que sumergir un gran número de bobinas pequeñas, puede ahorrarse mucho tiempo disponiendo un tablero de escurrimiento, colocado con cierta inclinación, de modo que puedan colgarse las bobinas encima de él, y el barniz que gotee de ellas resbale por el tablero para volver al tanque. Empleando este procedimiento, pueden sumergirse otras bobinas mientras el primer grupo está escurriendo.

Después que se haya escurrido el barniz sobrante deben ponerse las bobinas en la estufa. Al ponerlas en ésta es conveniente invertir su posición, de manera que cualquier exceso de barniz que haya en los extremos o cabezas inferiores vuelva a repartirse uniformemente sobre su superficie cuando se empiece a calentar.

Cuando las bobinas se están secando, se tropieza a veces con dificultades por ser la ventilación insuficiente. Si no se mantiene continuamente en movimiento el aire que hay dentro de la estufa, y no se admite constantemente aire fresco dentro de ella, los vapores desprendidos por el barniz producirán un revestimiento verde en la superficie de las bobinas, y se reducirán considerablemente las cualidades aislantes del barniz.

En las estufas grandes se emplean a veces pequeños ventiladores para producir una corriente de aire forzado y asegurar una buena ventilación. Las estufas pequeñas suelen tener una chimenea en su parte superior y una entrada de aire en el fondo, de modo que el aire caliente pueda subir y mantener una circulación constante. Una estufa eléctrica mantiene un control de temperatura automático durante toda la operación de secado.

Cuando se aplica el barniz con una brocha, debe calentarse antes si es posible el devanado para expulsar la humedad y permitir al barniz penetrar más profundamente en las bobinas. El barniz puede aplicarse con cualquier brocha ordinaria para pintar. Este método se emplea cuando el tanque no es lo suficientemente grande para poder sumergir los devanados, o cuando no se dispone de tanque para la inmersión.

El método de la pulverización del barniz se emplea principal mente en los devanados grandes, y permite obtener una superficie excelente para la capa final del barniz.

En los extremos o cabezas de las bobinas deben aplicarse dos o tres capas de barniz como protección adicional contra los esfuerzos mecánicos y la humedad, y también para impedir los arcos con la armazón de la máquina.

La tabla temperaturas y tiempos de secado, muestra las temperaturas correctas y el tiempo aproximado en horas para secar barnices aislantes. Se observará que cuando se secan inducidos o devanados de estatores completos se necesita más tiempo para los de mayor tamaño, así mismo, de que el secado más lento produce un aislamiento más elástico y de mejor calidad.

TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE SECADO

Tamaño del estator Diámetro del núcleo	120°C. Secado rápido Horas	107°C. Secado elástico Horas	100°C. Secado extraelástico Horas
Menos de 15 cm	4 a 6	6 a 8	8 a 10
De 15 a 30 cm	12	24	36
De 30 a 45 cm	24	36	48
De 45 a 60 cm	36	48	60

En los casos de emergencia, cuando el tiempo es un factor muy importante, pueden secarse los devanados a temperaturas más altas en muchas menos horas, pero el barniz será algo más quebradizo, y más dispuesto a agrietarse cuando se le someta a algún esfuerzo.

Es importante que no deba intentarse nunca secar devanados a temperaturas mucho más altas que las que se dan en la primera columna de esta tabla, pues es probable que se estropee el aislamiento existente entre las bobinas. Cuando no es necesario apresurar mucho el trabajo, es preferible efectuar el secado a las temperaturas más bajas, y durante los períodos de tiempo más largos indicados en la tabla, de esta manera, se obtendrá un aislamiento mucho más duradero y más seguro.

Hay que añadir que esta clase de aislamiento proporciona una superficie más lisa a los devanados y bobinas, haciendo que sea mucho más fácil limpiarlas, ya sea por medio de una brocha o de aire comprimido, o bien, lavándolas con una mezcla de tetracloruro de carbono y gasolina o alguna otra solución adecuada para quitar la grasa y el aceite.

5.6 Alambre magneto

Es un conductor generalmente redondo de alambre cobre, forrado de un material aislante. El alambre magneto se encuentra esmaltado a base de polivinil formal, poliuretano, poliéster-imida y algunos otros, así mismo, se encuentran cubiertos con forro de algodón, papel, dacrón y fibra de vidrio; estas características, se deben tomar en cuenta para elegir el tipo de alambre adecuado a las necesidades del motor. Véase tabla de materiales.

MATERIALES

Tipo o nombre comercial		Descripción y características
Formanel	-	Alambre de cobre o aluminio suave, con aislante de polivinil formal, puede trabajar en condiciones de humedad, siempre y cuando ésta no vaya acompañada de temperaturas bajas. También resiste la acción atmosférica con solventes comunes, así como la inmersión en aceite, resina, ceras y algunas substancias corrosivas tal como ácidos y bases diluidas. La película de esmalte tiene una magnifica adherencia el cobre, la cual le permite soportar perfectamente los procesos de devanar.
Formanel cementado	-	Alambre de cobre o aluminio esmaltado con polivinil-formanel y una sobre capa de cemento, lográndose la fabricación eficiente de bobinas rígidas autosoportadas.
Soldanel	-	Alambre de cobre suave, la película de esmalte es soldanel, sin necesidad de eliminarla por medios mecánicos, esto facilita, la mano de obra, ahorrando dinero donde se requieren conexiones soldadas, en calibres finos, pude soldase en menos de un segundo por inmersión en estaño fundido, las uniones son tan fuertes como aquellas que se realizan en alambre de cobre desnudo, y permite conexiones seguras por largo tiempo.
Amidanel	-	Alambre de cobre o aluminio suave esmaltado con polister-imida, y sobre capa de poliamida. Asegura gran resistencia para las operaciones más severas de devanar.
Alambres forrados con algodón	-	El aislante esta constituido a base de hilo de algodón, aplicados en sentido opuesto sobre el conductor. El algodón da mayor rigidez a los embobinados, y los protege contra vibraciones (resistencia mecánica). Después de un proceso de impregnación, adecuado al alambre magneto aislado con algodón, resiste a la humedad y tiene el barniz impregnado, además, disipa fácilmente el calor generado en el conductor.

A menudo se emplean en los motores pequeños de una fracción de HP, devanados aislados solamente con esmalte, debido al poco espacio que ocupa este aislamiento y a la facilidad con que conduce el calor hasta el exterior de las bobinas.

Es conveniente emplear conductores con un aislamiento suficiente para protegerlos contra los cortos circuitos en las bobinas terminadas. Sin embargo, debemos tener presente también que los aislamientos más gruesos necesitan

más espacio, y, por consiguiente, permiten poner menos vueltas o espiras en una ranura de un tamaño dado.

Al especificar o comprar los conductores para hacer las bobinas, suele indicarse su aislamiento poniendo las iniciales del recubrimiento deseado. Los fabricantes norteamericanos utilizan las designaciones siguientes: E. para el esmalte; S.C. (single cotton) para una capa de algodón; D.C. (double cotton) para dos capas de algodón; S.S. (single silk) para una capa de seda; D.S. (double silk) para dos capas de seda; S.C.E. (single cotton and enamel) para una capa de algodón y esmalte, etc.

Las formas más comunes de aislamiento empleadas son las cubiertas de esmalte, algodón y seda. Los conductores recubiertos de seda y algodón pueden obtenerse con una sola capa o con dos capas de este aislamiento. Se emplean también mucho las combinaciones de esmalte y algodón o de esmalte y seda.

El aislamiento de esmalte se emplea por lo general en los conductores muy delgados, pero los recubrimientos combinados de esmalte y algodón o esmalte y seda se emplean en conductores bastante gruesos. El esmalte empleado para aislar los alambres de magneto, tiene una rigidez dieléctrica muy elevada y es lo bastante flexible para permitir doblar el conductor sin que se agriete, ni se estropee el esmalte.

Los conductores de magneto redondos pueden obtenerse, por lo general, en los tamaños que van desde el No. 46 al No. 6 del calibre. La tabla alambres magneto, da los diámetros de los alambres magneto del No. 14 al No. 44 del calibre. Esos diámetros se dan para los conductores desnudos, y también para los alambres con diferentes aislamientos, así mismo, muestra las áreas y los pesos de esos conductores. La tabla datos de conductores para bobinados de motores eléctricos, muestra los esmaltaos de los conductores.

ALAMBRES MAGNETO

Calibre	Diám. conductor desnudo mm	Diám. conductor esmaltado mm	Diám. del S.C.E. mm	Diám. del S.S.F. mm	Diám. del S.C.C. mm	Diám. del D.C.C. mm	Diám. del S.C.C mm	Diám. del D.S.C. mm	Área mm^2	Ω / Km	Ω / Kg	m / Ω	m / Kg
14	1.628	1.679	1.806	1.730	1.755	1.882	1.679	1.730	2.081	8.271	0.4472	120.9	54.05
15	1.450	1.499	1.626	1.549	1.577	1.704	1.501	1.552	1.650	10.43	0.7111	95.86	68.13
16	1.291	1.336	1.463	1.387	1.417	1.544	1.341	1.392	1.309	13.15	1.131	76.02	85.94
17	1.150	1.196	1.323	1.247	1.278	1.379	1.201	1.252	1.038	16.59	1.798	60.29	108.4
18	1.025	1.064	1.191	1.115	1.151	1.252	1.074	1.125	0.823	20.91	2.858	47.82	136.7
19	0.9166	0.953	1.080	1.003	1.039	1.140	0.963	1.013	0.653	26.37	4.545	37.92	172.3
20	0.8118	0.851	0.978	0.902	0.940	1.041	0.864	0.914	0.518	33.27	7.228	30.07	217.3
21	0.7229	0.759	0.874	0.810	0.838	0.940	0.775	0.826	0.410	41.93	11.49	23.85	274.0
22	0.6438	0.678	0.787	0.729	0.752	0.853	0.693	0.744	0.326	52.89	18.27	18.91	344.1
23	0.5733	0.607	0.716	0.658	0.683	0.785	0.625	0.676	0.258	66.67	29.06	15.00	435.7
24	0.5106	0.541	0.650	0.592	0.620	0.721	0.561	0.612	0.205	84.09	46.19	11.89	549.3
25	0.4547	0.458	0.594	0.536	0.564	0.665	0.505	0.556	0.162	106.0	73.47	9.434	692.7
26	0.4049	0.432	0.533	0.483	0.505	0.607	0.455	0.505	0.129	137.7	116.8	7480	873.5
27	0.3606	0.386	0.488	0.437	0.462	0.564	0.411	0.462	0.102	168.6	185.7	5.931	1 101
28	0.3211	0.343	0.445	0.394	0.422	0.523	0.371	0.422	0.0810	212.6	295.2	4.703	1 389
29	0.2859	0.310	0.411	0.361	0.389	0.490	0.338	0.389	0.0642	268.1	497.7	3.731	1 752
30	0.2546	0.274	0.376	0.325	0.356	0.457	0.305	0.356	0.0509	337.9	746.6	2.959	2 209
31	0.2268	0.246	0.348	0.297	0.328	0.429	0.277	0.328	0.0404	426.2	1 187	2.346	2 785
32	0.2019	0.221	0.323	0.272	0.305	0.406	0.254	0.305	0.0320	537.4	1 888	1.861	3 512
33	0.1798	0.196	0.297	0.246	0.282	0.384	0.231	0.282	0.0254	677.9	3 001	1.476	4 428
34	0.1601	0.175	0.277	0.226	0.262	0.363	0.211	0.262	0.0201	854.7	4 774	1.170	5 584

35	0.1426	0.157	0.259	0.208	0.244	0.345	0.193	0.244	0.0160	1 077	7 587	0.9281	7 042
36	0.1270	0.140	0.241	0.191	0.229	0.330	0.178	0.229	0.0127	1 359	12 070	0.7358	8 876
37	0.1131	0.127	-	-	-	-	-	-	0.0100	1 713	19 190	0.5837	11 190
38	0.1007	0.112	-	-	-	-	-	-	0.0080	2 161	30 580	0.4630	14 120
39	0.0897	0.099	-	-	-	-	-	-	0.0063	2 725	48 510	0.3670	17 810
40	0.0799	0.089	-	-	-	-	-	-	0.0050	3 435	77 130	0.2911	22 450
41	0.0711	0.079	-	-	-	-	-	-	0.0040	4 374	119 100	0.2326	28 220
42	0.0633	0.071	-	-	-	-	-	-	0.0032	5 512	192 700	0.1844	35 480
43	0.0564	0.064	-	-	-	-	-	-	0.0025	6 956	291 100	0.1423	44 610
44	0.0502	0.058	-	-	-	-	-	-	0.0020	8 760	468 600	0.1173	55 500

CONCLUSIONES

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos, que para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos

Existen básicamente tres tipos de motores eléctricos: motores de corriente directa [C.D.] o corriente continua [C.C.], motores de corriente alterna [C.A.] y universales.

Los Motores de Corriente Alterna [C.A.] son los tipos de motores más usados en la industria. De acuerdo a su alimentación se dividen en tres tipos: Monofásicos, bifásicos y trifásicos.

La forma más sencilla y eficaz de evitar problemas de corrección de motores, es con su correcta selección e instalación, así mismo ayuda a lograr la máxima eficiencia del motor, y minimiza su deterioro, lo que tienden a garantizar que el equipo se encuentre en óptimas condiciones de operación.

Los motores eléctricos tienen una gran variedad de detalles constructivos, que varían según el fabricante. Deben considerarse siempre las instrucciones y recomendaciones de mantenimiento emitidas por el fabricante de cada motor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de la instalación y las peculiaridades del accionamiento.

El mantenimiento empieza en la selección del motor. Frecuentemente se hace la selección sin considerar las implicaciones en el servicio y mantenimiento del motor, de lo que resultan consecuencias económicas desfavorables.

El mantenimiento preventivo abarca todos los planes y acciones necesarias para determinar y corregir las condiciones de operación que puedan afectar a un sistema, maquinaria o equipo, antes de que lleguen al grado de mantenimiento correctivo, considerando la selección, la instalación y la misma operación.

El mantenimiento preventivo bien aplicado disminuye los costos de producción, aumenta la productividad, así como la vida útil de la maquinaria y equipo, obteniendo como resultado la disminución de paro de maquinas.

Para llevar un control de los resultados se utiliza un registro de equipo, además de que auxilia de un programa de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es importante en cualquier instalación, pero es solo función, y no debe interferir con la función de línea de producción. La interferencia con la producción debe ser mínima. Con una planeación cuidadosa, gran parte del trabajo se puede hacer mientras las máquinas están en plena producción, pues es cuando mejor se puede observar la conmutación, vibraciones, calentamiento y temperaturas.

El mantenimiento preventivo sigue la curva inversa de las utilidades decrecientes. Cuando se da un mantenimiento excesivo al equipo eléctrico, el costo se puede volver prohibitivo; pero si se descuida por completo el mantenimiento, los resultados serán fallas prematuras y reparaciones costosas.

El mantenimiento correctivo consiste en realizar una serie de trabajos de restauración, que son necesarios cuando la maquinaria ha dejado de funcionar, y es necesario repárala.

Algunas de estas fallas conducen a la presencia de corto circuito, que finalmente se traduce en fallas en los devanados, que se detectan mediante pruebas.

Los aparatos e instrumentos básicos utilizados en la detección de fallas y reparación de motores eléctricos son: el multímetro, el megaóhmetro, el termómetro, el comparador de carátula, el nivel de burbuja, la lámpara de prueba, la brújula, el zumbador o Growler y el tacómetro.

El embobinado de motores es un concepto aplicable a los motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos, y va desde el desarmado de los propios motores hasta los cálculos mismos en su caso.